ФИЗИЧЕСКОЕ ОБОЗРѢНІЕ

1903 г. ТОМЪ 4 No. 5

Оптическій резонансъ

І. І. Косоногова.

1. Въ 1887 году Герцъ указалъ пріемъ, съ помощью котораго можно получать электромагнитныя колебанія достаточно малаго періода. Пріемъ этотъ, какъ извѣстно, состоитъ въ томъ, что между двумя проводниками, образующими „первичный проводникъ" или „вибраторъ", тѣмъ или другимъ способомъ устанавливается разность потенціаловъ, достаточная для того, чтобы въ перерывѣ между проводниками произошелъ искровой разрядъ. Разрядъ этотъ имѣетъ колебательный характеръ и сопровождается періодическими измѣненіями электромагнитнаго состоянія окружающей среды; эти измѣненія мы называемъ электромагнитными колебаніями, направленія, по которымъ они распространяются,—электромагнитными лучами, а разстоянія между двумя послѣдовательными ближайшими одинаковыми фазами электрическаго или магнитнаго состоянія—длиною электрической или магнитной волны.

Открывъ способъ полученія электромагнитныхъ колебаній, Герцъ нашелъ и пріемъ для того, чтобы обнаруживать существованіе этихъ колебаній въ пространствѣ; пріемъ этотъ, какъ извѣстно, состоитъ въ томъ, что въ изслѣдуемомъ мѣстѣ помѣщается „вторичный проводникъ", размѣры котораго подобраны такъ, чтобы періодъ его собственныхъ электромагнитныхъ колебаній соотвѣтствовалъ періоду колебаній первичнаго проводника; этотъ вторичный проводникъ, носящій названіе „резонато-

ра“, представляетъ проволочный кругъ, прямоугольникъ или прямолинейный стержень, имѣющій въ одномъ мѣстѣ небольшой перерывъ („искровой перерывъ”). Помѣщая резонаторъ соотвѣтственнымъ образомъ въ данномъ мѣстѣ пространства, мы обнаружимъ здѣсь существованіе электромагнитныхъ колебаній по появленію искры въ перерывѣ. Перерывъ резонатора можетъ быть замѣненъ термоэлектрическою парою; тогда наличность электромагнитныхъ колебаній обнаруживается по нагрѣванію термоэлектрической пары, которое вызываетъ отклоненіе стрѣлки гальванометра, соединеннаго съ парою.

2. Многочисленныя изслѣдованія электромагнитныхъ колебаній указали на существованіе такъ называемаго сложнаго резонанса, подмѣченнаго впервые Саразеномъ и Деларивомъ (1895 г.). Явленіе это состоитъ въ томъ, что наличность электромагнитныхъ колебаній можетъ быть обнаружена не только резонаторомъ, періодъ собственныхъ колебаній котораго въ точности равенъ періоду колебаній первичнаго проводника, (или резонаторомъ, „настроеннымъ въ унисонъ” съ первичнымъ проводникомъ), но и цѣлымъ рядомъ другихъ резонаторовъ, не вполнѣ отвѣчающихъ первичному проводнику. Происходитъ это оттого, что декрементъ затуханія электрическихъ колебаній вибратора вообще великъ, и въ немъ не устанавливаются колебанія, а потому для резонатора, декрементъ затуханія котораго, какъ показалъ Бьеркнесъ, вообще малъ, имѣетъ главное значеніе первый импульсъ (первое колебаніе вибратора); поэтому резонаторъ и можетъ отзываться на колебанія, не вполнѣ соотвѣтствующія его собственному періоду.

Обстоятельство, аналогичное сложному резонансу, можетъ имѣть мѣсто и при отраженіи электромагнитныхъ колебаній отъ металлическаго зеркала. Это послѣднее является своего рода резонаторомъ, отвѣчающимъ на колебанія или какъ цѣлое, или отдѣльными частями (аналогичное по внѣшности явленіе мы имѣемъ въ случаѣ отраженія звука отъ упругихъ пластинокъ). Такимъ образомъ, при отраженіи электромагнитныхъ колебаній отъ зеркалъ мы можемъ вообще получить такія отраженныя колебанія, періодъ которыхъ не соотвѣтствуетъ періоду падающихъ колебаній. Это и надо имѣть въ виду при работѣ съ электромагнитными колебаніями, когда мы такъ или иначе имѣемъ дѣло съ отраженіемъ ихъ отъ зеркалъ. Въ виду изложеннаго, при моихъ опредѣленіяхъ діэлектрическихъ постоянныхъ „оптическимъ”

пріемомъ, я пользовался зеркалами, представлявшими не сплошныя металлическія поверхности, а цѣлую систему резонаторовъ одного и того же размѣра; при такихъ условіяхъ получались очень чистые результаты.

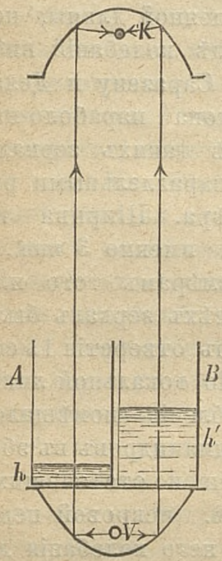
Примѣненный мною пріемъ вкратцѣ состоялъ въ слѣдующемъ: имѣя въ виду получать волны опредѣленной длины, независимо отъ случайныхъ измѣненій въ періодѣ колебаній вибратора и отъ возможныхъ въ немъ, согласно Саразену и Делариву, „обертоновъ", я построилъ изъ картона параболо-цилиндрическія зеркала; на внутренней сторонѣ такихъ зеркалъ параллельно фокальной линіи были наклеены параллельными рядами полоски станіоля опредѣленнаго размѣра. Ширина полосокъ была во всѣхъ случаяхъ одинаковая, именно 3 mm., а длина 1, 1·5, 2, 3 и 4 cm. соотвѣтственно размѣрамъ того или другого вибратора. Фокусное разстояніе у всѣхъ зеркалъ было одинаково и равно 1·5 cm., поперечный размѣръ отверстія 11 cm. и по направленію параллельному оси 10 cm. По фокальной линіи такого зеркала—при помощи особаго приспособленія—помѣщался вибраторъ, состоявшій изъ двухъ латунныхъ цилиндровъ въ эбонитовой трубкѣ, расположенныхъ по ея оси и отстоявшихъ другъ отъ друга на разстояніе около 0·5 cm. (искровой перерывъ). При дѣйствіи вибратора, идущія отъ него колебанія достигаютъ до пластинокъ станіоля, наклеенныхъ на зеркалѣ (будемъ ихъ называть резонаторами) и возбуждаютъ въ нихъ собственныя колебанія. Колебанія эти, какъ показалъ мнѣ опытъ, имѣютъ постоянный опредѣленный періодъ и постоянную для данной окружающей среды длину волны.

Зеркало съ вибраторомъ *V* (фиг. 1) помѣщалось горизонтально, отверстіемъ вверхъ. Идущій отъ него параллельный пучекъ лучей принимался вторымъ, точно такимъ же зеркаломъ („пріемникъ"), обращеннымъ отверстіемъ внизъ и расположеннымъ отъ перваго на опредѣленномъ разстояніи.

Послѣ отраженія отъ второго зеркала лучи собирались въ его фокальной линіи и здѣсь могли производить то или другое дѣйствіе. Для того, чтобы судить объ этомъ дѣйствіи, по фокальной линіи второго зеркала помѣщалась трубка Бранли (когереръ) *K* съ крупными мѣдными или желѣзными опилками, которая неоднократно примѣнялась при аналогичныхъ изслѣдованіяхъ.

Трубка Бранли вмѣстѣ съ чувствительнымъ гальванометромъ и гальваническимъ элементомъ составляла цѣпь.

Во избѣжаніе постороннихъ вліяній на катушку гальванометра, онъ помѣщался въ папковый цилиндръ, оклеенный отведеннымъ къ землѣ станіолемъ. Въ цилиндрѣ было оставлено только небольшое отверстіе для пропуска лучей къ зеркалу и второе — для приводящихъ проволокъ. Эти послѣднія (конечно изолированныя) на всемъ протяженіи отъ гальванометра къ трубкѣ Бранли были перевиты другъ съ другомъ и также обернуты станіолемъ, отведеннымъ къ землѣ.



фиг. 1.

Для контролированія интенсивности искры около зеркала-пріемника, внѣ его, помѣщался второй когереръ, введенный въ свою цѣпь съ элементомъ и гальванометромъ. Показанія второго гальванометра отмѣчались одновременно съ показаніями главнаго гальванометра, и эти послѣднія редуцировались къ опредѣленной величинѣ (100) первыхъ.

Самое изслѣдованіе діэлектриковъ производилось слѣдующимъ образомъ: на раму первичнаго зеркала ставилось два (ради физической симметріи схемы) совершенно одинаковыхъ сосуда *A* и *B* изъ плоскаго зеркальнаго стекла (2 mm. толщины); размѣры сосудовъ были настолько велики (6×10 cm. въ сѣченіи), что каждый изъ нихъ свободно могъ закрывать ровно половину отверстія зеркала (линія раздѣла параллельна вибратору). Очевидно, что при подобныхъ условіяхъ (если зеркала построены правильно и установлены такъ, чтобы ихъ оптическія оси совпадали) какъ физическій, такъ и геометрическій ходъ одной и другой половины лучей, отъ вибратора къ первичному зеркалу, отсюда ко вторичному и далѣе къ трубкѣ, будетъ одинъ и тотъ же; дѣйствіе той и другой половины лучей на трубку будетъ складываться, и мы при дѣйствіи вибратора получимъ то или другое отклоненіе стрѣлки гальванометра.

Затѣмъ въ оба (ради физической симметріи) сосуда наливался испытуемый жидкій діэлектрикъ небольшими, но равными

слоями; тогда физическій ходъ обѣихъ половинъ лучей будетъ по прежнему одинаковъ, волны той или другой половины пучка будутъ въ каждый данный моментъ приходить къ когереру съ одинаковыми фазами, и мы опять получимъ нѣкоторое отклоненіе на гальванометрѣ, но, вообще говоря, меньшее, чѣмъ въ предыдущемъ случаѣ. Послѣднее обусловливается частью отраженіемъ лучей, частью поглощеніемъ ихъ въ діэлектрикѣ. Подливая въ одинъ изъ сосудовъ все больше и больше жидкости, мы обусловимъ этимъ физическую разность хода, а, слѣдовательно, и разность фазъ обоихъ пучковъ лучей, достигающихъ трубки; на гальванометрѣ это скажется уменьшеніемъ отклоненія, первый минимумъ котораго получится при разности толщины жидкихъ слоевъ, соотвѣтствующей разности физическаго хода лучей, въ 1/2 длины волны, второй—при разности въ 3/2 длины волны и т. д.

Если обозначимъ длину волны въ воздухѣ, соотвѣтствующую даннымъ размѣрамъ пластинокъ на зеркалахъ, чрезъ λ, длину ея въ діэлектрикѣ чрезъ λ', толщину слоя діэлектрика въ одномъ сосудѣ (меньшую) чрезъ h, въ другомъ—чрезъ h', то условіе минимума отклоненія стрѣлки гальванометра выразится, какъ легко видѣть, слѣдующимъ уравненіемъ:

$$\frac{z-h}{\lambda}+\frac{h}{\lambda'}=\frac{z'-h'}{\lambda}+\frac{h'}{\lambda'}-\frac{2m-1}{2},$$

гдѣ z и z'—длины геометрическихъ путей той и другой половины пучка лучей, а m для послѣдовательныхъ минимумовъ отклоненія стрѣлки гальванометра должно быть положено равнымъ 1, 2, 3,... Отсюда имѣемъ

$$\frac{h'-h}{\lambda'}-\frac{h'-h}{\lambda}=\frac{2m-1}{2},$$

если $z=z'$.

Зная длину волны λ въ воздухѣ (ее можно опредѣлить по способу Больцмана или Риги) и измѣривъ величины h и h', мы можемъ найти показатель электрическаго преломленія испытуемой жидкости ($\nu=\lambda/\lambda'$), а отсюда и діэлектрическую постоянную ($D=\nu^2$).

3. Изъ описанія пріема видно, что въ немъ существенную роль играло избирательное отраженіе электромагнитныхъ коле-

баній; какія бы колебанія ни посылалъ вибраторъ, отъ первичнаго зеркала могли итти только колебанія, соотвѣтствовавшія размѣрамъ наклеенныхъ на зеркалѣ резонаторовъ. Въ результатѣ получалось своего рода „цвѣтное“ отраженіе электрическихъ колебаній отъ зеркала, и „цвѣтъ“ зеркала (отраженіе поверхности) былъ, какъ показалъ опытъ, достаточно чистъ; отраженный „цвѣтной“ лучъ былъ однороднымъ, монохроматическимъ лучемъ.

Это обстоятельство навело меня на мысль изслѣдовать характеръ отраженія свѣтовыхъ лучей отъ, такъ называемыхъ, цвѣтныхъ поверхностей и выяснить, не имѣетъ-ли мѣста и здѣсь то обстоятельство, которое наблюдается нами при отраженіи электромагнитныхъ колебаній герцевскаго періода; иначе говоря, не представляетъ-ли поверхность цвѣтнаго тѣла системы „оптическихъ“ резонаторовъ.

Если бы удалось подтвердить эту догадку путемъ опыта, то мы во-первыхъ уяснили бы себѣ, до извѣстной степени, характеръ отраженія свѣта вообще, а во-вторыхъ имѣли бы новое и при томъ очень вѣское доказательство въ пользу тождества электромагнитныхъ и оптическихъ колебаній. Если бы такое явленіе подтвердилось на опытѣ, то мы имѣли бы право назвать его *оптическимъ резонансомъ*; оно, въ сущности, было бы тождественно съ электромагнитнымъ резонансомъ и отличалось бы отъ него лишь количественно (порядкомъ длины волны).

4. Косвенное указаніе на существованіе оптическаго резонанса мы видимъ въ опытахъ Рубенса и Никольса. Эти экспериментаторы изслѣдовали отраженіе поляризованныхъ тепловыхъ лучей отъ зеркалъ, серебряный слой которыхъ былъ продольными и поперечными линіями раздѣленъ на систему „резонаторовъ“, и нашли, что процентное отношеніе напряженія отраженныхъ лучей къ напряженію падающихъ было больше для тѣхъ зеркалъ, длина резонаторовъ которыхъ была кратною отъ половины длины волны падающихъ лучей. Изслѣдованіе было произведено для лучей съ длиною волны въ 23·7 μ; оказалось, что системы резонаторовъ въ $12{\cdot}4 \times 5{\cdot}3\,\mu$ и $24{\cdot}4 \times 5{\cdot}5\,\mu$ отражали 65·8% и 62·5%; тогда какъ системы резонаторовъ размѣра $6{\cdot}5 \times 4{\cdot}5\,\mu$ и $18 \times 5{\cdot}1\,\mu$ отражали лишь 38·3% и 40·7% количества падающихъ лучей. Это было въ томъ случаѣ, когда „электрическая слагающая“ поляризованнаго луча была параллельна продольной оси резонаторовъ; если же элек-

трическая слагающая[1]) была перпендикулярна къ продольному направленію резонаторовъ, то отраженіе было слабо и почти одинаково для всѣхъ системъ (23·9%—18·1%).

5. A priori можно сказать, что непосредственное экспериментальное изученіе оптическаго резонанса, какъ и непосредственное подтвержденіе существованія самаго явленія въ томъ или другомъ видѣ, проще всего можетъ быть сдѣлано тогда, когда намъ удастся построить систему резонаторовъ, размѣры коихъ были бы одного порядка съ длиною свѣтовыхъ волнъ. Въ виду этого мнѣ казалось желательнымъ построить такую систему резонаторовъ; опытъ показалъ, что практически это возможно[2]).

Для этой цѣли, очевидно, необходимо получить слои, состоящіе изъ зеренъ, линейные размѣры которыхъ были бы порядка длины свѣтовыхъ волнъ, и если мы хотимъ имѣть металлическіе резонаторы такого порядка, то должны тѣмъ или другимъ способомъ „распылить" металлы.

Въ первыхъ моихъ попыткахъ полученія распыленныхъ слоевъ металла я бралъ небольшое количество сильно разбавленнаго раствора для серебренія и изъ этого раствора осаждалъ серебро на пластинку зеркальнаго стекла. Слои отложеннаго серебра несомнѣнно указывали на наличность избирательнаго отраженія и поглощенія. Однако эти слои не были достаточно ровны и однородны: на одной и той же пластинкѣ получались мѣста разныхъ цвѣтовъ. Въ виду этого я обратился къ другому пріему приготовленія серебряныхъ слоевъ: нѣсколько капель сильно разбавленнаго коллоидальнаго раствора серебра наносились на стеклянную пластинку, и эта послѣдняя помѣщалась подъ колоколомъ воздушнаго насоса. При медленномъ откачиваніи воздуха удавалось получить слои серебра, окрашенные весьма интенсивно въ зеленый, синій и желтый цвѣтъ въ отраженномъ и въ пурпуровый, красноватый и зелено-голубой—въ пропущенномъ свѣтѣ. Однако и этими слоями трудно было удовлетвориться, такъ какъ—вслѣдствіе неравномѣрности откачиванія воздуха—они раз-

---

[1]) „Электрическую слагающую" колебаній („электрическое смѣщеніе") Рубенсъ и Никольсъ считаютъ свѣтовымъ векторомъ.

[2]) Нѣкоторые результаты въ томъ же направленіи одновременно со мною получены проф. Вудомъ. Подробный обзоръ этихъ результатовъ можно найти въ моей замѣткѣ: „Оптическій резонансъ", Жур. Р. Физ. Хим. Общ. Т. XXXV (1903) стр. 307.

дѣлялись на систему неоднородно окрашенныхъ колецъ. Для улучшенія качества испытуемыхъ слоевъ былъ примѣненъ электрическій пріемъ. Пластинка зеркальнаго стекла клалась на металлическую подставку, помѣщенную внутри сосуда, составленнаго изъ двухъ герметически соединенныхъ между собою частей, противъ пластинки располагался серебряный стержень (3 □ mm. поперечнаго сѣченія), покрытый, за исключеніемъ небольшой конечной части, каучуковою трубкою. Металлическая подставка для стеклянной пластинки соединялась съ анодомъ, а серебряный стержень съ катодомъ электростатической машины; сосудъ былъ соединенъ съ разрѣжающимъ насосомъ; когда воздухъ въ сосудѣ разрѣжался до 2 mm., отъ катода отдѣлялся довольно широкій потокъ распыленнаго серебра, которое осаждалось на стеклянной пластинкѣ. Такъ же поступалъ я и для полученія слоевъ золота и платины, причемъ оказалось, что этотъ пріемъ даетъ сравнительно съ предыдущими очень хорошіе результаты: слои металла получаются довольно ровные и интенсивно окрашенные.

Но самые лучшіе результаты удалось получить способомъ, который состоялъ въ слѣдующемъ: сильно разрѣженный растворъ той или другой соли даннаго металла или же растворъ металла въ коллоидальномъ состояніи, приготовленный мною помощью электрическаго распыленія металла подъ водою, наносился въ видѣ мельчайшей пыли (помощью пульверизатора) на стеклянную пластинку, нагрѣваемую въ то же время при помощи бунзеновской горѣлки. Какъ только распыленныя частицы раствора попадали на пластинку, растворитель немедленно испарялся, и на стеклѣ оставались только мельчайшія зерна металла или его соли; въ послѣднемъ случаѣ, когда количество зеренъ на глазъ казалось достаточнымъ, пульверизація прекращалась, и пластинка подвергалась повторному, болѣе сильному прокаливанію, для того, чтобы удалить всѣ составныя части соли кромѣ металла. Такимъ путемъ были получены металлическія соли изъ растворовъ $AuCl_3$ и $PtCl_4$ въ Ol. Lavendulae, $AuCl_3$ и $CuSO_4$ въ водѣ и въ спирту, и коллоидальныхъ растворовъ Au, Ag и Pt въ водѣ.

6. Опишемъ вкратцѣ внѣшній видъ слоевъ и ихъ свойства. Слои золота, полученные при распыленіи пульверизаторомъ, имѣли въ отраженномъ свѣтѣ зеленый, желто-зеленый, голубой и синевато-голубой цвѣтъ, въ пропущенномъ—пурпуровый, желтоватый, синій и фіолетовый цвѣта; по внѣшнему виду для невооруженнаго глаза слои представлялись весьма однородными.

Исключеніе представляли 4 или 5 слоевъ, которые невооруженному глазу казались состоящими, какъ бы изъ отдѣльныхъ, небольшихъ (около одного миллиметра въ діаметрѣ) зеренъ; однако при разсматриваніи помощью микроскопа эти зерна разрѣшались на мельчайшія пылинки металла; при микроскопическомъ изслѣдованіи, оказалось, что и тѣ слои, которые невооруженному глазу казались совершенно сплошными, состоятъ изъ такихъ же пылинокъ.

Слои золота, полученные электрическимъ путемъ, имѣли въ отраженномъ свѣтѣ различный цвѣтъ, смотря по тому, насколько при ихъ образованіи соотвѣтственный электродъ былъ поставленъ близко къ стеклянной пластинкѣ, а также отъ того, какъ долго производилось распыленіе электрода. Что эти два обстоятельства дѣйствительно были одними изъ главныхъ причинъ, обусловливавшихъ цвѣтъ слоя, можно было заключить изъ слѣдующаго: при первыхъ попыткахъ полученія слоевъ такимъ путемъ я бралъ соотвѣтственный электродъ, состоящій только изъ одной проволоки; при этихъ условіяхъ на центральной части пластинки, ближайшей къ концу электрода, получалось пятно темно-фіолетоваго цвѣта, за нимъ слѣдовало кольцо голубовато-синяго цвѣта, дальше цвѣтъ переходилъ въ зеленоватый и наконецъ по периферіи слой имѣлъ пурпурово-оранжевую окраску въ пропущенномъ свѣтѣ. При разсматриваніи подъ микроскопомъ оказалось, что въ центральной части слоя зерна металла были наиболѣе крупны и наиболѣе густо расположены; по мѣрѣ удаленія отъ центра зерна становились мельче и были расположены рѣже; наконецъ, на самой периферіи слой даже подъ микроскопомъ казался совершенно однороднымъ, и нельзя было подмѣтить зернистости его строенія; только въ томъ случаѣ, когда слой въ этомъ мѣстѣ былъ слегка поцарапанъ какимъ-нибудь остріемъ тогда на мѣстахъ царапинъ можно было замѣтить едва уловимыя зерна металла. Для того, чтобы избѣжать только-что описаннаго кольцеобразнаго строенія слоевъ, я бралъ электроды, состоявшіе изъ нѣсколькихъ короткихъ проволокъ (въ видѣ очень рѣдкой щетки); при этомъ условіи получались слои весьма однородные по строенію и имѣвшіе одинаковый цвѣтъ по всей поверхности.

Серебряныя пленки приготовлялись тѣмъ же способомъ и, смотря по условіямъ, могли быть получены тѣхъ же различныхъ цвѣтовъ, что и золотыя; по внѣшнему виду многія изъ нихъ на-

столько были похожи на золотыя, что трудно было отличить однѣ отъ другихъ.

7. Чтобы выяснить причину, обусловливавшую разные цвѣта золотыхъ и серебряныхъ слоевъ, было произведено микроскопическое изслѣдованіе этихъ слоевъ: при этомъ оказалось, что вообще каждый цвѣтной слой имѣлъ зернистое строеніе и что цвѣтъ слоя находился въ зависимости отъ величины зеренъ; чѣмъ отражаемый свѣтъ былъ ближе къ красному краю спектра, тѣмъ зерна были крупнѣе и гуще расположены. Это обстоятельство указывало на возможность существованія оптическаго резонанса аналогичнаго электрическому, и мнѣ казалось вполнѣ вѣроятнымъ, что резонаторами являлись зерна металловъ, видимыя въ микроскопъ. Опредѣленія размѣровъ этихъ послѣднихъ вполнѣ подтвердили это предположеніе.

Если, однако, предположеніе объ оптическомъ резонансѣ вѣрно, то должно имѣть мѣсто вліяніе окружающей резонаторы среды, и, замѣняя окружающій резонаторы воздухъ другою средою, которая бы имѣла больпій діэлектрическій коэффиціентъ, мы должны замѣтить это вліяніе. Ясно, что тогда емкость резонаторовъ, а также коэффиціенты ихъ взаимной индукціи должны увеличиваться, а результатомъ этого (если только наше представленіе о сущности оптическаго резонанса справедливо) должно быть увеличеніе длины отраженныхъ волнъ, т. е. переходъ цвѣта слоя, разсматриваемаго въ отраженномъ свѣтѣ, отъ фіолетоваго къ красному краю спектра. Чтобы провѣрить это, я смачивалъ слои металловъ разными жидкостями—спиртомъ, эфиромъ, бензиномъ, жидкимъ парафиномъ; результатомъ всегда являлось измѣненіе цвѣта слоевъ, въ смыслѣ увеличенія длины волны отраженныхъ лучей; напр., зеленый цвѣтъ серебряныхъ и золотыхъ пленокъ измѣнялся въ оранжево-желтый, синій цвѣтъ нѣкоторыхъ серебряныхъ пленокъ въ зеленоватый и т. п.

Вообще многочисленныя микроскопическія изслѣдованія позволяли вывести заключеніе, что длина волны отражаемыхъ лучей тѣмъ больше (цвѣтъ слоя тѣмъ ближе къ красному), чѣмъ зерна металла крупнѣе и гуще расположены. Особенно хорошо это было замѣтно на такихъ слояхъ, которые не вездѣ имѣли одинаковый цвѣтъ, каковы напр. слои, полученные изъ коллоидальныхъ растворовъ серебра при выпариваніи воды подъ колоколомъ воздушнаго насоса, или слои золота и серебра, полу-

ченные распыленіемъ электрода, состоящаго изъ одной только проволоки.

Все вышесказанное говоритъ въ пользу правильности представленія объ оптическомъ резонансѣ, какъ объ явленіи аналогичномъ электрическому резонансу, а также и въ пользу того, что длина отраженныхъ волнъ существеннымъ образомъ зависитъ отъ размѣровъ зеренъ, составляющихъ слой, и отъ свойствъ окружающей ихъ діэлектрической среды, другими словами, отъ ихъ электромагнитныхъ характеристикъ. Для большей убѣдительности, мнѣ кажется, не лишнее привести еще нижеслѣдующій фактъ: изъ платины я долго не могъ получить цвѣтныхъ слоевъ; всѣ тѣ многочисленные слои (около 100), которые мнѣ удалось приготовить различными вышеописанными способами, не имѣли опредѣленнаго, отчетливо выраженнаго цвѣта; большинство изъ нихъ, при весьма удовлетворительной однородности строенія, въ отраженномъ свѣтѣ имѣло неопредѣленный сѣроватый цвѣтъ, и только въ весьма немногихъ замѣчался нѣкоторый намекъ на фіолетовый оттѣнокъ. Микроскопическое изслѣдованіе сначала не дало никакихъ результатовъ (при увеличеніи въ 1000—1100 разъ), и только впослѣдствіи, при пользованіи болѣе сильнымъ микроскопомъ, удалось подмѣтить, что и слои платины состоятъ изъ нѣжныхъ едва уловимыхъ въ микроскопъ зеренъ. Это наводило на мысль, что приготовленные слои платины должны были отражать лучи весьма короткой длины волны—фіолетовые и ультра-фіолетовые, т. е. на глазъ не дѣйствующіе; а если такъ, задача полученія отчетливо видимыхъ глазомъ цвѣтныхъ слоевъ платины сводилась къ нахожденію способа увеличенія размѣровъ ея зеренъ, составляющихъ слой. Послѣ долгихъ попытокъ удалось добиться этого помощью возможно сильнаго и продолжительнаго нагрѣванія слоя, полученнаго распыленіемъ при помощи пульверизатора, на пламени паяльной газовой горѣлки. Этимъ путемъ удалось получить синіе (въ отраженномъ свѣтѣ) слои платины. Микроскопическое изслѣдованіе показало, что эти послѣдніе слои платины состоятъ изъ вполнѣ отчетливо и рѣзко видимыхъ зеренъ, болѣе крупныхъ, чѣмъ тѣ, изъ которыхъ слои состояли до нагрѣванія. Въ этомъ измѣненіи цвѣта слоя платины съ измѣненіемъ размѣра зеренъ можно видѣть одно изъ наиболѣе вѣскихъ доказательствъ въ пользу вышеприведеннаго представленія о сущности оптическаго резонанса.

Съ цѣлью сравненія мною были приготовлены еще слои (механическимъ распыленіемъ, а также выпариваніемъ слабыхъ растворовъ) различныхъ анилиновыхъ красокъ: фуксина, эозина, флоксина, метилъ-віолета, фіолетовой—„Генціана", зеленой—„Викторія", и др. Во всѣхъ полученныхъ слояхъ наблюдалось то же явленіе: всѣ слои имѣли опредѣленное зернистое строеніе, цвѣтъ отраженнаго свѣта (цвѣтъ поверхности въ отраженномъ свѣтѣ) зависѣлъ отъ размѣра зеренъ, т. е. отъ микроструктуры поверхности.

8. Наконецъ мною былъ изслѣдованъ вопросъ о причинѣ окраски крыльевъ бабочекъ. Крылья бабочекъ, какъ извѣстно, покрыты, такъ называемыми, чешуйками, расположенными другъ около друга на подобіе черепицъ кровли. Эти чешуйки имѣютъ весьма малые размѣры (около 0·4 □ mm.) и по формѣ напоминаютъ болѣе или менѣе широкій ивовый листъ съ нѣсколькими закругленными зубцами. При разсматриваніи подъ микроскопомъ съ сильнымъ увеличеніемъ (1000—2000 разъ) замѣчается, что онѣ имѣютъ очень оригинальное и правильное строеніе: основной слой хитина (рогового вещества, изъ котораго построены чешуйки) представляется прорѣзаннымъ какъ бы рядомъ параллельныхъ другъ другу полосокъ, „ребрышекъ"; между этими ребрышками, и частью на нихъ, расположены удивительно правильно, въ шахматномъ порядкѣ зернышки опредѣленнаго размѣра. По изслѣдованіи размѣра этихъ зеренъ оказалось, 1) что этотъ послѣдній тѣсно связанъ съ цвѣтомъ того мѣста крыла, съ котораго взяты чешуйки и 2) что діаметръ зеренъ равняется средней длинѣ волны того свѣта, который отражаютъ чешуйки.

9. Для того, чтобы дать понятіе о томъ, какъ мѣняется цвѣтъ отражаемаго свѣта въ зависимости отъ микроструктуры поверхности, привожу краткую выдержку изъ многочисленныхъ результатовъ, полученныхъ мною. Таблица, содержащая эти результаты, составлена слѣдующимъ образомъ: въ первой графѣ помѣщено названіе матеріала, изъ котораго составленъ испытуемый слой; во второй графѣ указано названіе цвѣта, отражаемаго данною поверхностью; въ третьей—выраженная въ микронахъ средняя длина волны отражаемыхъ поверхностью лучей и въ четвертой—выраженный въ тѣхъ же единицахъ діаметръ зеренъ, изъ которыхъ построена испытуемая поверхность; этотъ діаметръ опредѣлялся изъ диффракціонныхъ колецъ Фраунгофера.

Вещество слоя	Цвѣтъ слоя	Средняя длина волны	Діаметръ зеренъ
Хитинъ	Ярко-красный	0·680	0·673
Серебро	„	„	0·326
Висмутъ	„	„	0·318
Анилин. кр.	Красный	„	0·337
Хитинъ	Оранжево-желтый	0·600	0·605
Золото	„	„	0·348
Серебро	„	„	0·315
Анилин. кр.	„	„	0·296
Хитинъ	Желтовато-зеленый	0·550	0·562
Золото	„	„	0·298
Серебро	„	„	0·291
Анилин. кр.	„	„	0·282
Хитинъ	Голубой	0·500	0·515
Серебро	„	„	0·249
Анилин. кр.	„	„	0·248

Разсматривая данныя, приведенныя въ таблицѣ, мы замѣчаемъ, что 1) зерна хитиновыхъ (діэлектрическихъ) слоевъ имѣютъ діаметръ приблизительно равный средней длинѣ волны отражаемыхъ поверхностью лучей и 2) въ слояхъ металлическихъ и изъ анилиновыхъ красокъ діаметръ зеренъ весьма близокъ къ половинѣ средней длины волны отражаемыхъ лучей.

Это обстоятельство даетъ намъ право утверждать, что между явленіемъ отраженія электромагнитныхъ колебаній герцевскаго періода и отраженіемъ свѣтовыхъ колебаній существуетъ полная аналогія: 1) что длина волны отражаемыхъ поверхностью лучей является величиною кратною отъ діаметра зеренъ, изъ

которыхъ построена поверхность, и 2) что зерна, образующія отражающую поверхность, являются резонаторами для свѣтовыхъ колебаній совершенно подобно тому, какъ металлическіе проводники большаго размѣра служатъ резонаторами для электромагнитныхъ колебаній герцевскаго періода.

Послѣ всего сказаннаго ясно, что описанное избирательное отраженіе свѣта дѣйствительно можно считать оптическимъ резонансомъ.

Кіевъ, 1903 г.

Электрическія взаимодѣйствія на границѣ двухъ средъ.

(Опыты В. В. Николаева)

П. А. Зилова[1]).

1. По представленіямъ Фарадея изолирующая среда, окружающая наэлектризованныя тѣла и въ которой развивается электрическое поле, находится въ особомъ состояніи. Ее можно мысленно разбить на силовыя нити, начинающіяся у поверхности положительно заряженнаго тѣла, кончающіяся у поверхности отрицательно заряженнаго тѣла и имѣющія всюду соотвѣтственное направленіе электрической силы. Эти нити стремятся укоротиться и разбухнуть, вслѣдствіе чего разноименно наэлектризованныя тѣла, будучи свободны, взаимно притягиваются, а одноименнно наэлектризованныя взаимно отталкиваются.

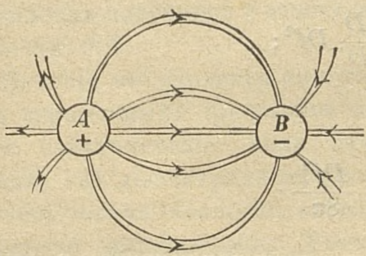
Представимъ себѣ, что въ однородной средѣ помѣщаются два сферическихъ проводника *A* и *B* (фиг. 1), заряженныхъ разноименно; силовыя линіи, выходя изъ одного проводника, вхо-

---

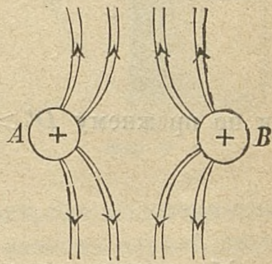
[1]) Въ Comptes Rendus (30 дек. 1901 г. и 6 янв. 1902 г.), а также въ Phil. Mag. (іюнь, 1902) В. В. Николаевъ обнародовалъ рядъ интересныхъ опытовъ надъ электрическими взаимодѣйствіями. Съ разрѣшенія автора я описываю здѣсь три главнѣйшихъ опыта и даю имъ свое объясненіе.

дятъ въ другой и расположены, какъ показано на чертежѣ; вслѣдствіе укорачиванія нитей наши проводники сближаются между собою.

Если проводники заряжены одноименно, напр. положительно, то нити выходятъ изъ обоихъ и удаляются въ безконеч-



фиг. 1.



фиг. 2.

ность (фиг. 2); вслѣдствіе разбуханія нитей и ихъ взаимнаго отталкиванія, наши проводники удаляются одинъ отъ другого.

2. Если f напряженіе электрическаго поля и D діэлектрическая постоянная среды, то какъ продольное растяженіе, такъ и боковое давленіе силовыхъ нитей равно $Df^2/8\pi$. Теперь положимъ, что поле развивается въ двухъ различныхъ средахъ, раздѣленныхъ поверхностью. Съ переходомъ поля изъ одной среды въ другую продольное и поперечное натяженіе нитей, т. е. $Df^2/8\pi$, вообще измѣняется; если со сказаннымъ переходомъ D увеличивается, то эти натяженія увеличиваются или уменьшаются, смотря по расположенію нитей относительно поверхности раздѣла діэлектриковъ.

Ограничимся только двумя частными случаями.

1) Силовыя нити идутъ параллельно поверхности раздѣла обоихъ средъ, характеризуемыхъ діэлектрическими постоянными D и D'; называя f и f' напряженія поля въ той и другой средѣ, мы въ данномъ случаѣ для точки, лежащей на раздѣльной поверхности, должны написать

$$f' = f,$$

а слѣдовательно, если $D' > D$,

$$\frac{D'f'^2}{8\pi} > \frac{Df^2}{8\pi}.$$

2) Силовыя нити направлены нормально къ поверхности раздѣла; тогда на этой поверхности, какъ извѣстно,

$$D'f' = Df$$

или, возводя въ квадратъ,

$$D'f'^2 = \frac{D}{D'} Df^2;$$

если по прежнему $D' > D$, то

$$\frac{D'f'^2}{8\pi} < \frac{Df^2}{8\pi}.$$

Оба вывода приводятъ къ одному заключенію, а именно, что *среда съ большею діэлектрической постоянною стремится вытѣснить среду съ меньшею діэлектрическою постоянною и занять ея мѣсто.* Дѣйствительно, въ первомъ случаѣ силовыя нити обѣихъ средъ соприкасаются боками, и нити болѣе сильнаго діэлектрика расширяются съ большею силою, чѣмъ нити слабѣйшаго діэлектрика, вслѣдствіе чего болѣе сильный діэлектрикъ надвигается на болѣе слабый. Во второмъ случаѣ нити одной среды служатъ продолженіями нитей другой, и нити слабѣйшаго діэлектрика укорачиваются съ большею силою, чѣмъ нити сильнѣйшаго, вслѣдствіе чего опять болѣе сильный діэлектрикъ надвигается на болѣе слабый [1]).

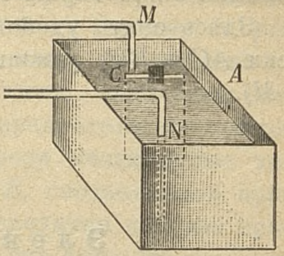
Здѣсь, понятно, имѣетъ значеніе лишь относительное движеніе, а не абсолютное, и потому вытѣсненіе слабѣйшаго діэлектрика сильнѣйшимъ можетъ принимать самыя разнообразныя формы. Вообще если наэлектризованныя тѣла, вызывающія поле, неподвижны, а среды удобоподвижны, то сильнѣйшій діэлектрикъ дѣйствительно наступаетъ на слабѣйшій и его вытѣсняетъ; если же наоборотъ, наэлектризованныя тѣла удобоподвижны, а среды не могутъ смѣщаться, то сами наэлектризованныя тѣла перемѣщаются въ сторону сильнѣйшаго діэлектрика. Для иллюстраціи указанныхъ положеній приведемъ рядъ опытовъ.

3. Въ сосудъ A (фиг. 3) съ водою опущены двѣ проволоки

---

[1]) См. статью Я. Н. Жука, *Физическое Обозрѣніе* 2 т. (1902) стр. 203.

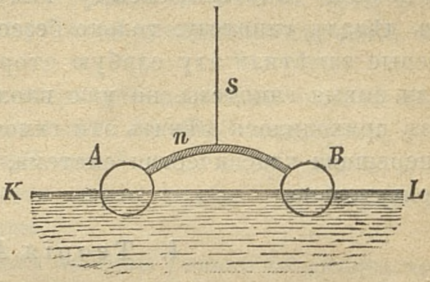
M и *N* съ загнутыми внизъ концами; затѣмъ въ воду погружаютъ еще слюдяную пластинку *C* съ пробкою наверху, при помощи которой она плаваетъ вертикально. Если проволоки соединить съ полюсами батареи или съ борнами динамомашины, то слюдяная пластинка удаляется отъ плоскости *MN*.



фиг. 3.

Явленіе объясняется просто. Вокругъ заряженныхъ проволокъ развивается электрическое поле отчасти въ водѣ, гдѣ діэлектрическая постоянная очень велика (около 80), отчасти въ слюдѣ, гдѣ діэлектрическая постоянная незначительна. Такъ какъ въ данномъ случаѣ наэлектризованныя тѣла (т. е. проволоки *M* и *N*) неподвижны, а среды удобоподвижны, то слюда удаляется и ея мѣсто занимаетъ вода.

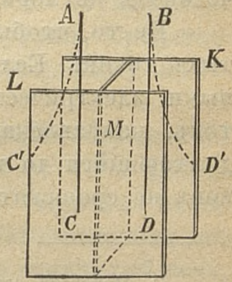
4. Два металлическихъ шара *A* и *B* (фиг. 4) соединены между собою твердою изолирующею перекладиною *n*; шары наши за нить *s* подвѣсимъ къ одному концу коромысла вѣсовъ, которые уравновѣсимъ, когда шары наполовину погружаются въ жидкій діэлектрикъ, свободная поверхность коего есть *KL*. Если затѣмъ шары наши соединить съ полюсами батареи, то они опускаются въ жидкость.



фиг. 4.

Такъ какъ въ разсматриваемомъ случаѣ наэлектризованныя тѣла удобоподвижны, то они удаляются отъ воздуха въ жидкій діэлектрикъ, т. е. отъ слабѣйшаго діэлектрика въ болѣе сильный.

5. Въ сосудъ съ водою погружаютъ три стекла *K*, *L* и *M* (фиг. 5), склеенныхъ между собою Н-образно; станіолевыя полоски *AC* и *BD* (20 cm. длины и 3 mm. ширины) вѣшаютъ такъ, чтобы онѣ помѣщались между стеклами *K* и *L* и раздѣлялись одна отъ другой стекломъ *M*; если верхніе концы этихъ полосокъ соединить съ полюсами батареи, то нижніе концы ихъ



фиг. 5.

удаляются другъ отъ друга и загибаются за стекло *K* или *L*, принимая напр. формы *AC'* и *BD'*.

Здѣсь опять удобоподвижныя наэлектризованныя тѣла (полоски *AC* и *BD*) удаляются отъ слабѣйшаго діэлектрика (стекла *M*).

Электродинамика

Г. Пуанкаре[1]).

Исторія электродинамики очень поучительна. Своему безсмертному мемуару Амперъ далъ заглавіе „Теорія электродинамическихъ явленій, основанная *исключительно* на опытѣ". Такимъ образомъ Амперъ воображалъ, что рѣшилъ вопросъ помимо всякой гипотезы; между тѣмъ, какъ мы сейчасъ увидимъ, онъ дѣлалъ гипотезу, только безсознательно. Слѣдующіе за нимъ ученые замѣтили эту слабую сторону рѣшенія Ампера; они ставили новыя гипотезы, но уже вполнѣ сознательно. Но сколько разъ приходилось мѣнять эти гипотезы, пока не была достигнута теперешняя классическая система, которая, можетъ быть, еще не окончательна.

I. Теорія Ампера.

Когда Амперъ экспериментально изучалъ взаимодѣйствія токовъ, онъ дѣлалъ опыты только съ замкнутыми токами; иначе онъ и не могъ поступать.

Не то, чтобы Амперъ не зналъ о существованіи незамкнутыхъ токовъ. Если два проводника, заряженныхъ противоположными электричествами, соединить проволокою, то возникаетъ токъ, направленный отъ одного проводника къ другому и продолжающійся до тѣхъ поръ, пока потенціалы обоихъ проводниковъ не сравняются. По существовавшимъ во времена Ампера

---

[1]) Переводъ одной главы изъ книги: „La Science et l'Hypothèse" par H. Poincaré, membre de l'Institut, prof. à la Faculté des Sciences de l'Université de Paris.

понятіямъ это былъ незамкнутый токъ: перемѣщеніе электричества отъ перваго проводника ко второму, было очевидно, но возвращеніе его отъ второго проводника къ первому не усматривалось. Подобнаго рода токи, какъ напр. при разрядѣ конденсаторовъ, Амперъ считалъ незамкнутыми; такіе токи слишкомъ кратковременны, чтобы могли быть предметомъ его опытовъ.

Можно вообразить себѣ другого рода незамкнутые токи. Представимъ себѣ два проводника A и B, соединенныхъ проволокою AMB. Движущіеся маленькіе проводники сначала прикасаются къ проводнику B, заимствуютъ отъ него заряды, отдѣляются отъ B, перемѣщаются по пути BNA, приходятъ въ соприкосновеніе съ A и отдаютъ ему свои заряды, которые затѣмъ возвращаются въ B чрезъ проволоку AMB. Въ извѣстномъ смыслѣ здѣсь замкнутая цѣпь, ибо электричество перемѣщается по замкнутому пути $BNAMB$; но обѣ части этого тока очень различны: на пути AMB электричество перемѣщается чрезъ неподвижный проводникъ, на подобіе вольтаическаго тока, преодолѣвая омическое сопротивленіе и развивая теплоту; говорятъ, что оно здѣсь перемѣщается *проводимостью*; на пути BNA электричество *переносится* движущимся проводникомъ; здѣсь оно перемѣщается *конвекціею*.

Если токъ конвекціи разсматривать во всѣхъ отношеніяхъ подобнымъ току проводимости, то цѣпь $BNAMB$ замкнутая; если же токъ конвекціи не „настоящій токъ“ (если напр. онъ не дѣйствуетъ на магниты), то остается одинъ только токъ проводимости AMB, который *незамкнутъ*.

Если полюсы электрофорной машины Гольца соединить проволокою, вращающійся стеклянный кругъ переноситъ электричество съ одного полюса на другой, которое возвращается въ первый полюсъ проводимостью по проволокѣ. Но осуществить подобные токи значительной величины очень трудно. Средствами, которыми располагалъ Амперъ, это было совершенно невозможно.

Итакъ Амперъ могъ представить себѣ существованіе того и другого рода незамкнутыхъ токовъ, но онъ не могъ дѣлать опытовъ ни съ тѣми, ни съ другими, ибо они были или слишкомъ слабы, или слишкомъ кратковременны. Слѣдовательно его опыты показывали дѣйствіе замкнутаго тока на замкнутый токъ, или же дѣйствіе замкнутаго тока на одну часть другого замкнутаго тока. Ибо токъ можетъ проходить по замкнутой цѣпи, со-

стоящей изъ двухъ частей—подвижной и неподвижной; тогда можно изучать перемѣщеніе подвижной части одного замкнутаго тока подъ дѣйствіемъ другого замкнутаго тока.

Понятно, что Амперъ не имѣлъ никакихъ средствъ изучать дѣйствія разомкнутаго тока на замкнутый или на другой разомкнутый токъ.

1. *Случай замкнутыхъ токовъ.* Для случая взаимодѣйствія двухъ замкнутыхъ токовъ Амперъ открылъ замѣчательно простые законы. Я вкратцѣ напомню тѣ изъ нихъ, которые намъ пригодятся впослѣдствіи.

А) Если два проводника *съ постоянными токами*, испытавъ перемѣщенія и какія-нибудь измѣненія формы, возвращаются въ начальныя положенія, то совершаемая при этомъ полная работа электродинамическихъ силъ будетъ равна нулю.

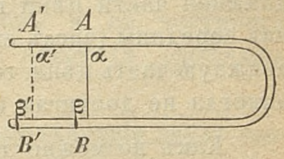
Слѣд. существуетъ *электродинамическій потенціалъ* двухъ проводниковъ пропорціональный произведенію токовъ и зависящій отъ формы и относительнаго положенія проводниковъ; работа электродинамическихъ силъ равна измѣненію этого потенціала.

В) Дѣйствіе замкнутаго соленоида равно нулю.

С) Дѣйствіе цѣпи C на другую цѣпь C' зависитъ только отъ „магнитнаго поля", развиваемаго первою. Дѣйствительно, во всякой точкѣ пространства можно опредѣлить по величинѣ и направленію нѣкоторую силу, называемую *напряженіемъ поля* и обладающую слѣдующими свойствами: a) Сила, съ которою C дѣйствуетъ на магнитный полюсъ, приложена къ этому послѣднему; эта сила равна напряженію поля, помноженному на магнитную массу полюса. b) Очень короткая магнитная стрѣлка стремится принять направленіе поля и пара силъ, дѣйствующая при этомъ на стрѣлку, пропорціональна произведенію напряженія поля, магнитнаго момента стрѣлки и синуса угла отклоненія стрѣлки. c) Если проводникъ C' перемѣщается, то работа электродинамическихъ силъ, съ которыми C дѣйствуетъ на C', равна измѣненію „пучка силовыхъ нитей", пронизывающихъ контуръ проводника C'.

2. *Дѣйствіе замкнутаго тока на часть другого тока.* Не имѣя возможности осуществить незамкнутый токъ, Амперъ принужденъ былъ изучать дѣйствіе замкнутаго тока на одну часть такого же тока. Такимъ образомъ приходилось дѣйствовать на цѣпь C', составленную изъ двухъ частей—одной неподвижной

и другой подвижной. Подвижная часть состояла напр. изъ проволоки $\alpha\beta$ (фиг. 1), концы которой могли скользить вдоль неподвижной проволоки. При одномъ положенiи подвижной проволоки ея конецъ α находится въ точкѣ A неподвижной проволоки, а конецъ β въ B; токъ шелъ изъ α въ β, т. е. изъ A въ B по подвижной проволокѣ и возвращался затѣмъ изъ B въ A по неподвижной проволокѣ. Слѣд. это *замкнутый токъ.* Послѣ перемѣщенiя подвижная проволока



фиг. 1.

имѣетъ свои концы въ A' и B'; тогда токъ идетъ изъ A' въ B' по подвижной проволокѣ и возвращается изъ B' въ B, отсюда въ A и наконецъ изъ A въ A'. Токъ опять замкнутый.

Если бы такой токъ находился подъ дѣйствiемъ замкнутаго тока C, подвижная часть перемѣщалась бы, какъ если бы испытывала дѣйствiе нѣкоторой силы. Амперъ *принялъ*, что кажущаяся сила, съ которою токъ C дѣйствуетъ на часть $\alpha\beta$, та же самая, какъ если бы въ проволокѣ $\alpha\beta$ былъ незамкнутый токъ, начинающiйся въ α и кончающiйся въ β.

Такая гипотеза можетъ показаться естественною и Амперъ сдѣлалъ ее, самъ того не замѣчая; однако *она не обязательна*, и Гельмгольцъ ея не принялъ. Какъ бы то ни было, эта гипотеза позволила Амперу (хотя онъ никогда не могъ осуществить разомкнутаго тока) составить законы дѣйствiя замкнутаго тока на разомкнутый токъ или даже на элементъ тока. Эти законы очень просты:

a) Сила, дѣйствующая на элементъ тока, приложена къ этому элементу; она нормальна къ элементу и къ направленiю поля; она пропорцiональна составляющей напряженiя поля, взятой по нормали къ элементу.

b) Дѣйствiе замкнутаго соленоида на элементъ тока равно нулю.

Но въ разсматриваемомъ случаѣ нѣтъ электродинамическаго потенцiала; такимъ образомъ, когда замкнутый и разомкнутый токи (величины которыхъ поддерживаются постоянными) возвращаются въ свои прежнiя положенiя, то полная работа не равна нулю.

3. *Непрерывное вращенiе.* Между электродинамическими опытами наиболѣе интересны тѣ, въ которыхъ можно осуществить

непрерывное вращеніе или такъ называемую *униполярную индукцію*. Представимъ себѣ магнитъ, удобоподвижный около своей оси; если пропустить чрезъ него токъ, который бы изъ неподвижной части цѣпи входилъ чрезъ сѣверный полюсъ и выходилъ изъ середины (чрезъ скользящій контактъ), возвращаясь въ неподвижную часть цѣпи, то магнитъ начинаетъ непрерывно вращаться, никогда не достигая положенія равновѣсія. Это опытъ Фарадея.

Какъ возможно такое явленіе? Если бы мы имѣли дѣло съ двумя проводниками неизмѣнной формы, изъ коихъ одинъ C неподвижный, другой C' удобоподвижный около оси, то послѣдній никогда не пришелъ бы въ непрерывное вращеніе; дѣйствительно въ этомъ случаѣ существуетъ электродинамическій потенціалъ и потому необходимо имѣется положеніе равновѣсія, соотвѣтствующее наибольшему значенію этого потенціала.

Непрерывныя вращенія возможны слѣдовательно только въ томъ случаѣ, когда, какъ въ опытѣ Фарадея, проводникъ C' состоитъ изъ двухъ частей: одной неподвижной, другой удобоподвижной около оси. Надо еще различать два случая: переходъ тока изъ неподвижной части цѣпи въ подвижную (или наоборотъ) совершается или при помощи постояннаго контакта (одна и та же точка подвижной части цѣпи всегда остается въ контактѣ съ одною и тою же точкою неподвижной части), или же при помощи скользящаго контакта (одна и та же точка подвижной части послѣдовательно касается различныхъ точекъ неподвижной части). Только въ послѣднемъ случаѣ можетъ происходить непрерывное вращеніе. Вотъ что тогда происходитъ: система стремится занять положеніе равновѣсія; но, когда система приближается къ нему, скользящій контактъ соединяетъ подвижную часть съ новою точкою неподвижной части, вслѣдствіе чего измѣняются условія равновѣсія; такимъ образомъ положеніе равновѣсія какъ бы бѣжитъ передъ системою, которая стремится его достичь, и вращеніе можетъ продолжаться до безконечности.

Амперъ принималъ, что цѣпь C дѣйствуетъ на подвижную часть цѣпи C' также, какъ если бы неподвижная часть цѣпи C' не существовала, какъ если бы, иными словами, токъ въ подвижной части цѣпи былъ незамкнутымъ токомъ. Отсюда онъ сдѣлалъ заключеніе, что дѣйствіе замкнутаго тока на незамкнутый или обратно—дѣйствіе разомкнутаго тока на замкнутый—можетъ дать мѣсто непрерывному вращенію. Но такое заключеніе осно-

вано на упомянутой выше гипотезѣ, которой Гельмгольцъ не допускаетъ.

4. *Взаимодѣйствіе двухъ разомкнутыхъ токовъ.* Относительно взаимодѣйствія двухъ разомкнутыхъ токовъ и въ частности двухъ элементовъ токовъ мы не имѣемъ никакихъ опытныхъ указаній. Амперъ прибѣгъ къ гипотезѣ.

Онъ предположилъ во-первыхъ, что взаимодѣйствіе двухъ элементовъ сводится къ силѣ, направленной по линіи ихъ соединенія, и во-вторыхъ, что сила взаимодѣйствія двухъ замкнутыхъ токовъ есть равнодѣйствующая силъ взаимодѣйствія ихъ элементовъ, которые при этомъ дѣйствуютъ съ такими же силами, какъ если бы они были взяты отдѣльно. Замѣчательно, что и эти гипотезы Амперъ ставитъ, повидимому, безсознательно. Какъ бы то ни было эти гипотезы вмѣстѣ съ опытами надъ замкнутыми токами вполнѣ опредѣляютъ законъ взаимодѣйствія двухъ элементовъ.

Но тогда большинство простыхъ законовъ, съ которыми мы познакомились для случая замкнутыхъ токовъ, невѣрны. Прежде всего нѣтъ электродинамическаго потенціала; такого нѣтъ и въ случаѣ замкнутаго тока, дѣйствующаго на разомкнутый токъ. Далѣе, собственно говоря, нѣтъ и напряженія поля. Дѣйствительно это напряженіе можно опредѣлить тремя различными способами: 1) чрезъ дѣйствіе, испытываемое магнитнымъ полюсомъ, 2) чрезъ пару силъ, направляющую магнитную стрѣлку, и 3) чрезъ дѣйствіе, испытываемое элементомъ тока. Въ данномъ случаѣ не только эти три опредѣленія различны, но они лишены смысла: 1) теперь магнитный полюсъ находится не просто подъ дѣйствіемъ приложенной къ нему силы; дѣйствительно, мы видѣли, что сила, обусловливаемая дѣйствіемъ элемента тока на полюсъ, приложена не къ полюсу, а къ элементу; впрочемъ, она можетъ быть замѣнена силою, приложенною къ полюсу, и парою силъ; 2) пара силъ, дѣйствующая на магнитную стрѣлку, не простая направляющая пара, ибо ея моментъ относительно оси стрѣлки не равенъ нулю; эта пара разлагается на направляющую пару и дополнительную пару, вызывающую непрерывное вращеніе, о которомъ я говорилъ выше; 3) наконецъ сила, испытываемая элементомъ тока, не нормальна къ этому элементу. Иными словами *единство магнитнаго поля исчезло.* Вотъ въ чемъ должно состоять это единство: двѣ системы, дѣйствующія съ

равными силами на магнитный полюсъ, должны дѣйствовать съ одинакими же силами на безконечно-малую магнитную стрѣлку или на элементъ тока, помѣщаемые въ ту же точку пространства, въ которой былъ нашъ полюсъ.

Все это вѣрно, если обѣ системы заключаютъ въ себѣ лишь замкнутые токи; это не будетъ вѣрно, если системы заключаютъ разомкнутые токи. Такъ если полюсъ помѣщенъ въ A на продолженіи элемента тока, то послѣдній не дѣйствуетъ на полюсъ, но дѣйствуетъ на магнитную стрѣлку или на элементъ тока, помѣщенные въ A.

5. *Индукція.* Извѣстно, что электродинамическая индукція была открыта вслѣдъ за обнародованіемъ изслѣдованій Ампера.

Явленіе индукціи не представляетъ никакого затрудненія, пока дѣло идетъ о замкнутыхъ токахъ; Гельмгольцъ показалъ даже, что съ помощью принципа сохраненія энергіи законы индукціи можно вывести изъ электродинамическихъ законовъ Ампера. Бертранъ показалъ однако, что это требуетъ допущенія нѣкоторыхъ гипотезъ.

Изъ того же принципа сохраненія энергіи можно сдѣлать этотъ выводъ и для случая разомкнутыхъ токовъ, хотя, конечно, его нельзя провѣрить опытомъ, ибо невозможно осуществить подобныхъ токовъ.

Если бы мы приложили эти выводы къ амперовской теоріи разомкнутыхъ токовъ, то получили бы удивительные результаты.

Прежде всего индукцію нельзя представить какъ результатъ измѣненія магнитнаго поля; мы уже видѣли что въ этомъ случаѣ, собственно говоря, нѣтъ магнитнаго поля. Далѣе пусть въ контурѣ C индуцируется токъ измѣняющеюся системою S съ токомъ; пусть эта система S перемѣщается, измѣняетъ свою форму или токи въ ней измѣняются какъ-нибудь, лишь бы въ концѣ концовъ послѣ всѣхъ этихъ измѣненій система S возвращалась въ свое первоначальное состояніе; казалось бы, что наводимая при этомъ *средняя* электродвижущая сила проводника C должна равняться нулю. Это вѣрно лишь въ томъ случаѣ, когда проводникъ C замкнутый и система S заключаетъ въ себѣ одни замкнутые токи; это невѣрно, если имѣются разомкнутые токи. Такимъ образомъ не только индукція не опредѣляется тогда измѣненіемъ пучка силовыхъ нитей, но ее нельзя представить измѣненіемъ чего бы то ни было.

II. Теорія Гельмгольца.

Я остановился на слѣдствіяхъ, вытекающихъ изъ теоріи Ампера, и на его представленіи о разомкнутыхъ токахъ. Парадоксальность и искуственность положеній, къ которымъ эта теорія приводитъ, бросаются въ глаза; невольно является мысль, что здѣсь что-то неладно.

Послѣ этого понятно, что Гельмгольцъ старался измѣнить теорію Ампера. Онъ отбросилъ основную гипотезу Ампера, что взаимодѣйствіе двухъ элементовъ тока сводится къ одной силѣ, направленной по соединительной прямой; онъ принялъ, что элементъ тока подверженъ дѣйствіямъ силы и пары силъ. Это допущеніе дало поводъ къ знаменитой полемикѣ между Бертраномъ и Гельмгольцомъ.

Гипотезу Ампера Гельмгольцъ замѣняетъ слѣдующею: два элемента тока всегда имѣютъ электродинамическій потенціалъ, зависящій исключительно отъ ихъ положенія и направленія; работа силъ ихъ взаимодѣйствія равна измѣненію этого потенціала. Такимъ образомъ Гельмгольцъ, какъ и Амперъ, не можетъ обойтись безъ гипотезы; но Гельмгольцъ по крайней мѣрѣ высказываетъ ее сознательно.

Въ единственномъ доступномъ опыту случаѣ замкнутыхъ токовъ обѣ теоріи согласны; во всѣхъ другихъ случаяхъ онѣ расходятся.

Во-первыхъ вопреки допущенію Ампера подвижная часть замкнутаго тока и та же часть, будучи изолирована и образуя незамкнутый токъ, испытываютъ разныя силы. Вернемся къ прежней нашей цѣпи C', образуемой проволокою $\alpha\beta$, скользящею по неподвижной; въ единственномъ опытѣ, который осуществимъ— подвижная часть $\alpha\beta$ не изолирована, но составляетъ часть замкнутой цѣпи; когда она перемѣщается изъ AB въ $A'B'$, то электродинамическій потенціалъ измѣняется по двумъ причинамъ: 1) онъ увеличивается потому, что потенціалъ проводника $A'B'$ по отношенію къ проводнику C иной, чѣмъ потенціалъ проводника AB; 2) онъ увеличивается еще потому, что надо прибавить потенціалы элементовъ AA' и BB' по отношенію къ C; это двойное приращеніе потенціала и представляетъ работу силы, которая дѣйствуетъ на часть $\alpha\beta$. Если бы $\alpha\beta$ былъ изолированъ, то потенціалъ получалъ бы одно первое приращеніе, которое измѣряло бы работу силы, дѣйствующей на $\alpha\beta$.

Во-вторыхъ непрерывное вращеніе не можетъ имѣть мѣсто безъ скользящаго контакта; въ этомъ, какъ мы видѣли, заключается непосредственное слѣдствіе существованія электродинамическаго потенціала.

Если въ опытѣ Фарадея магнитъ неподвиженъ и токъ (внѣшній по отношенію къ магниту) проходитъ подвижную проволоку, то послѣдняя можетъ прійти въ непрерывное вращеніе. Но это еще не значитъ, чтобы проволока пришла въ непрерывное вращеніе, если мы уничтожимъ ея контактъ съ магнитомъ и заставимъ въ ней проходить незамкнутый токъ. Я сказалъ, что *изолированный* элементъ испытываетъ не такое же дѣйствіе, какъ удобоподвижный элементъ, составляющій часть замкнутой цѣпи.

Другая разница: дѣйствіе замкнутаго соленоида на замкнутый токъ равно нулю, какъ это слѣдуетъ изъ опыта и изъ обѣихъ теорій; его дѣйствіе на разомкнутый токъ равно нулю по теоріи Ампера, и отлично отъ нуля по теоріи Гельмгольца.

Отсюда важное слѣдствіе. Выше мы опредѣляли трояко напряженіе магнитнаго поля; третье изъ этихъ опредѣленій не имѣетъ здѣсь никакого смысла, ибо элементъ тока подвергается дѣйствію не одной силы. Первое тоже не имѣетъ смысла. Дѣйствительно, что такое магнитный полюсъ? Это—конецъ безконечно длиннаго линейнаго магнита; такой магнитъ можетъ быть замѣненъ безконечнымъ соленоидомъ. Для того, чтобы опредѣленіе наше имѣло смыслъ, дѣйствіе разомкнутаго тока на безконечный соленоидъ должно было зависѣть только отъ положенія конца этого соленоида, т. е. дѣйствіе замкнутаго соленоида должно было равняться нулю. Но, какъ сейчасъ было сказано, этого нѣтъ.

Ничего, правда, не мѣшаетъ принять второе опредѣленіе, основанное на измѣреніи пары, направляющей магнитную стрѣлку; но если мы приемемъ это опредѣленіе, то ни индукція, ни электродинамическія дѣйствія не будутъ уже зависѣть единственно отъ распредѣленія силовыхъ линій магнитнаго поля.

III. Затрудненія, создаваемыя этими теоріями.

Теорія Гельмгольца представляетъ прогрессъ сравнительно съ амперовскою; но она не устраняетъ всѣхъ затрудненій. Какъ въ той, такъ и въ другой слово „магнитное поле“ не имѣетъ смысла; а если ему и даютъ болѣе или менѣе искуственное значеніе, то обыкновенные законы къ нему непримѣнимы; такъ на-

веденная электродвижущая сила не измѣряется числомъ силовыхъ нитей, пересѣкаемыхъ проводникомъ.

Наше отрицательное отношеніе къ этимъ теоріямъ происходитъ не только оттого, что трудно отказаться отъ привычнаго образа мыслей и усвоеннаго способа выраженій. Тутъ есть еще нѣчто болѣе важное. Если мы не вѣримъ въ дѣйствіе на разстояніи, то электродинамическія явленія слѣдуетъ объяснять при помощи измѣненія среды; эти-то измѣненія и называются магнитнымъ полемъ; такимъ образомъ электродинамическія дѣйствія должны были бы зависѣть только отъ магнитнаго поля.

Всѣ эти затрудненія порождены были гипотезою разомкнутыхъ токовъ.

IV. Теорія Максвелля.

Таковы были затрудненія, созданныя господствующими теоріями, когда Максвелль устранилъ ихъ однимъ почеркомъ пера: по его представленіямъ *существуютъ только замкнутые токи.*

Максвелль принимаетъ, что если электрическое поле въ діэлектрикѣ измѣняется, то въ немъ происходитъ особое явленіе, дѣйствующее на магнитную стрѣлку, какъ токъ; это явленіе Максвелль назвалъ *токомъ перемѣщенія.*

Такимъ образомъ если два заряженныхъ противоположными электричествами проводника соединить проволокою, то въ ней во время разряда происходитъ незамкнутый токъ проводимости, но въ то же время въ окружающемъ діэлектрикѣ токи перемѣщенія замыкаютъ этотъ токъ проводимости.

Извѣстно, что максвеллевская теорія приводитъ къ объясненію оптическихъ явленій, какъ обусловливаемыхъ чрезвычайно быстрыми электрическими колебаніями. Въ то время подобное представленіе могло быть лишь смѣлою гипотезою, не имѣющею въ своей основѣ никакого опыта. Чрезъ двадцать лѣтъ мысли Максвелля получили опытное подтвержденіе. Герцу удалось устроить системы съ электрическими колебаніями, воспроизводящими подражанія свѣтовыхъ явленій, которыя отличаются отъ нихъ лишь длиною волны, подобно тому, какъ фіолетовый цвѣтъ отличается отъ краснаго. Такимъ образомъ Максвелль сдѣлалъ синтезъ свѣта.

Можно сказать, что Герцъ не даетъ непосредственнаго доказательства основной мысли Максвелля, именно, что токъ перемѣщенія дѣйствуетъ на магнитную стрѣлку. Въ сущности онъ доказалъ только, что электромагнитная индукція распространяется не мгновенно, какъ это прежде думали, а со скоростью свѣта. Но только предполагать, что нѣтъ токовъ перемѣщенія и что индукція распространяется со скоростью свѣта, равносильно допущенію, что токи перемѣщенія вызываютъ индукцію и что индукція распространяется мгновенно. Сразу этого, конечно, не видно, это доказывается математическимъ анализомъ, который я не могу здѣсь приводить.

V. Опыты Роланда.

Выше было сказано, что разомкнутые токи могутъ быть двухъ родовъ: во-первыхъ разрядные токи конденсатора или какого-нибудь проводника; во-вторыхъ электрическій зарядъ можетъ описывать замкнутый путь, перемѣщаясь проводимостью въ одной части цѣпи и конвективно въ другой части.

Для разомкнутыхъ токовъ перваго рода вопросъ можно было считать рѣшеннымъ: они замыкаются токами перемѣщенія. Для разомкнутыхъ токовъ второго рода рѣшеніе вопроса представлялось еще доступнѣе. Если токъ замкнутъ, то, казалось, это могло быть лишь чрезъ конвективный токъ. Для этого достаточно было принять, что конвективный токъ, т. е. заряженный проводникъ въ движеніи, можетъ дѣйствовать на магнитную стрѣлку. Однако не доставало опытнаго подтвержденія. Думали, что трудно получить достаточно сильный конвективный токъ, увеличивая даже до возможныхъ предѣловъ какъ зарядъ, такъ и скорость проводника.

Роланду, чрезвычайно искусному экспериментатору, удалось рѣшить вопросъ. Вотъ его опытъ: металлическій дискъ получалъ сильный электростатическій зарядъ и приводился въ быстрое вращеніе; помѣщенная вблизи диска астатическая магнитная стрѣлка испытывала отклоненіе. Опытъ былъ сдѣланъ два раза: сперва въ Берлинѣ, а затѣмъ въ Бальтиморѣ; впослѣдствіи онъ былъ повторенъ Гимштетомъ. Роландъ и Гимштетъ утверждали даже, что они сдѣлали количественныя измѣренія. Въ теченіе слѣдующихъ затѣмъ двадцати лѣтъ результаты Роланда принимались всѣми физиками безъ всякихъ возраженій. Казалось, что все ихъ подтверждаетъ. Несомнѣнно, что искра производитъ

магнитное дѣйствіе. Но не правдоподобно-ли, что разрядъ чрезъ искру образуется частицами, которыя отрываются отъ одного электрода и переносятся съ ихъ зарядами на другой электродъ? Самый спектръ искры, въ которомъ обнаруживаются линіи электроднаго металла, не служитъ-ли тому доказательствомъ? Такимъ образомъ искра есть настоящій конвективный токъ. Съ другой стороны принимаютъ также, что въ электролитѣ электричество переносится движущимися іонами; такимъ образомъ токъ въ электролитѣ тоже конвективный токъ; но онъ дѣйствуетъ на магнитную стрѣлку. То же можно сказать о катодныхъ лучахъ, которые Круксъ объясняетъ потокомъ мелкихъ частичекъ, заряженныхъ отрицательнымъ электричествомъ и очень быстро движущихся; катодные лучи такимъ образомъ представляютъ конвективные токи. Но катодные лучи отклоняются магнитомъ; можно думать, что и наоборотъ они отклоняютъ магнитную стрѣлку.

Правда Герцъ думалъ, что катодные лучи не переносятъ отрицательнаго электричества и не дѣйствуютъ на магнитную стрѣлку; но Герцъ ошибался: сперва Перрену удалось собрать электричество, которое переносится этими лучами; затѣмъ въ послѣднее время было обнаружено дѣйствіе катодныхъ лучей на магнитную стрѣлку.

Такимъ образомъ всѣ эти явленія—конвективный токъ, искра, электролитическій токъ, катодные лучи—дѣйствуютъ одинаково на магнитную стрѣлку и согласно съ закономъ Роланда.

VI. Теорія Лоренца.

Вскорѣ пошли дальше. По теоріи Лоренца даже токи проводимости суть настоящіе конвективные токи: электричество остается неразрывно связаннымъ съ нѣкоторыми матеріальными частичками, называемыми *электронами*; циркуляція этихъ электроновъ въ проводникахъ образуетъ электрическій токъ; проводники отличаются отъ изоляторовъ тѣмъ, что первые пропускаютъ чрезъ себя электроны, а вторые останавливаютъ ихъ движеніе.

Теорія Лоренца очень соблазнительна; она очень просто объясняетъ рядъ явленій, съ которыми не могли справиться старыя теоріи, даже максвеллевская, какъ напримѣръ аберрація свѣта, магнитная поляризація, явленіе Зеемана.

Тѣмъ не менѣе существовали поводы къ критикѣ. Явленія, совершающіяся въ системѣ, повидимому, должны были зависѣть отъ абсолютной скорости центра тяжести этой системы, что противорѣчитъ понятію объ относительности пространства. Это замѣчаніе Липманъ выразилъ въ слѣдующей рельефной формѣ: представимъ себѣ два заряженныхъ проводника, движущихся съ одинакими (по величинѣ и направленію) скоростями; они въ относительномъ покоѣ; однако каждый изъ нихъ эквивалентенъ конвективному току, и потому они должны взаимно притягиваться; измѣривъ это притяженіе, можно было бы измѣрить и ихъ абсолютную скорость. Сторонники Лоренца возражали, что въ такомъ случаѣ измѣрили бы не абсолютную скорость проводниковъ, а ихъ скорость относительно эѳира, и такимъ образомъ принципъ относительности не нарушается.

Каковы бы ни были эти замѣчанія, казалось, что зданіе электродинамики, по крайней мѣрѣ въ главныхъ частяхъ, уже окончательно выведено; все представлялось совершенно удовлетворительнымъ. Теоріи Ампера и Гельмгольца, созданныя для несуществующихъ разомкнутыхъ токовъ, казалось, имѣютъ лишь историческій интересъ; мало-по-малу стали забывать тѣ неразрѣшимыя осложненія, къ которымъ приводили эти теоріи.

Этотъ квіетизмъ былъ недавно нарушенъ опытами Кремьё, которые опровергаютъ результаты, полученные Роландомъ.

Многочисленные экспериментаторы направили свои усилія на разрѣшеніе вопроса новыми опытами. Къ чему приведутъ эти опыты? Я, конечно, воздержусь отъ предсказаній, которыя могутъ быть опровергнуты въ тотъ короткій промежутокъ времени, который пройдетъ отъ подписи корректуры до появленія въ свѣтъ этихъ строкъ.

Пасхальное засѣданіе 1903 г. Французскаго физическаго Общества

Э. Ротэ[1].

I. Лекціи.

1. Лекція *П. Кюри*: *Новѣйшія изслѣдованія о радіоактивности* [2]).

Радіоактивныя тѣла. Теперь извѣстно пять радіоактивныхъ тѣлъ: уранъ, торій, радій, полоній и актиній; отличаясь другъ отъ друга химическими свойствами, они обладаютъ одною общею способностью—испускать особые лучи (такъ наз. беккерелевскіе). Одни-ли эти пять тѣлъ обладаютъ радіоактивностью? Нѣкоторые физики полагаютъ, что всѣ тѣла радіоактивны, но большинство тѣлъ въ тысячу разъ слабѣе, чѣмъ уранъ, и что такъ называемыя радіоактивныя вещества выдѣляются лишь особенно сильною активностью. Къ радіоактивнымъ тѣламъ можно причислить даже землю, ибо изслѣдованіе Элстера и Гейтеля приводятъ къ мысли, что поверхность земли испускаетъ беккерелевскіе лучи, которые играютъ важную роль въ электрическихъ явленіяхъ атмосферы.

2. *Радій.* Успѣхомъ въ изслѣдованіи радіоактивности мы обязаны преимущественно радію, вслѣдствіе разнообразія его свойствъ. Болѣе или менѣе твердо установлено, что радій простое тѣло. Супруги Кюри получили два дециграмма совершенно чистаго радія. Демарсэ убѣдился, что этотъ металлъ даетъ особый спектръ.

Съ химической точки зрѣнія радій занимаетъ мѣсто рядомъ съ баріемъ и другими щелочно-земельными металлами, отличаясь отъ нихъ, какъ своимъ спектромъ пламени, такъ и спектромъ искры. Тогда какъ пламя барія зеленое, пламя радія—темно-ро-

---

[1]) Переводъ съ французскаго по рукописи, составленной авторомъ для *Физическаго Обозрѣнія*.

[2]) Conférence de *M. P. Curie*—Recherches récentes sur la radioactivité.

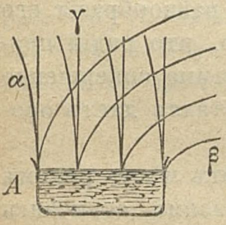
зовое. Это окрашиваніе соотвѣтствуетъ двумъ яркимъ краснымъ линіямъ въ спектрѣ (кромѣ того въ спектрѣ есть еще характерная синія линія); этимъ розовымъ окрашиваніемъ пламени пользуются при раздѣленіи радія и барія: фракціонированіе надо продолжать до тѣхъ поръ, пока пробы, вводимыя въ пламя, не станутъ окрашивать его въ темно-розовый цвѣтъ.

Атомный вѣсъ радія былъ найденъ равнымъ 225. Въ таблицѣ Менделѣева онъ помѣщается въ одномъ столбцѣ съ Ca, Sr и Ba (далѣе барія) и въ одномъ ряду съ U и Th; этотъ послѣдній рядъ составляетъ какъ бы особое семейство радіоактивныхъ тѣлъ. Число 225 какъ разъ соотвѣтствуетъ пустому мѣсту въ таблицѣ Менделѣева; слѣдовательно радій какъ бы предусматривался системою Менделѣева.

Химическія свойства. Радій обладаетъ свойствами щелочноземельныхъ металловъ, какъ напр. барій, только рѣзче выраженными; хлористыя соединенія радія слабо растворимы, сѣрнистыя соединенія еще менѣе.

Радій очень рѣдкое вещество; онъ добывается изъ смоляной обманки (Pechblende), содержащей уранъ; тона этой руды даетъ 15 kgr. радіоактивнаго барія, изъ котораго можно извлечь 2 dgr. чистаго радія. Повидимому радій получается только изъ такой руды, въ которой кромѣ барія содержатся соли урана и торія; въ противномъ случаѣ барій не радіоактивенъ. При обработкѣ 50 kgr. чистаго продажнаго барія не было найдено даже слѣдовъ радія.

Лучеиспусканіе. Радій испускаетъ разные лучи. Если свинцовую чашечку *A* (фиг. 1) съ радіемъ внести въ сильное магнитное поле, направленное перпендикулярно къ плоскости чертежа, то одна часть лучей отклоняется также, какъ катодные лучи; эти лучи, названные β-лучами, какъ-будто состоятъ изъ потока матеріальныхъ частичекъ, заряженныхъ отрицательнымъ электричествомъ; другая часть лучей отклоняется, правда очень слабо, въ противоположную сторону; эти лучи, названныя α-лучами, какъ-будто состоятъ изъ потока матеріальныхъ частицъ, заряженныхъ положительнымъ электричествомъ; наконецъ есть третій сортъ лучей, которые—подобно X-лучамъ—вовсе не отклоняются; это такъ называемые γ-лучи.



фиг. 1.

Лучи этихъ трехъ сортовъ, различаемые уже по дѣйствію на нихъ магнитнаго поля, различаются также и по степени поглощенія ихъ тонкими металлическими листочками. Листочекъ алюминія въ 1/20 mm. толщины совершенно поглощаетъ α-лучи, поглощаетъ часть β-лучей, но пропускаетъ γ-лучи (какъ и X-лучи).

Нѣсколько металлическихъ листочковъ, наложенныхъ одинъ на другой, дѣйствуютъ различно на наши лучи. Такъ α-лучи поглощаются первымъ листочкомъ менѣе, чѣмъ слѣдующимъ: все происходитъ такъ, какъ если бы эти лучи состояли изъ движущихся частичекъ, которыя, пройдя первое препятствіе, не имѣютъ силы пронизать остальныя. Совершенно обратное наблюдается для γ-лучей: первый листочекъ поглощаетъ ихъ сильнѣе, чѣмъ всѣ послѣдующіе. Наконецъ β-лучи представляютъ нѣчто промежуточное.

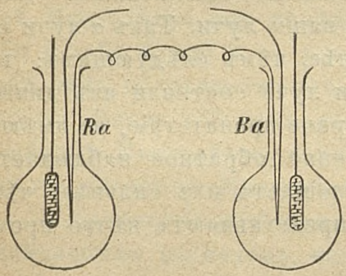
Физіологическія свойства. Крайне замѣчательны дѣйствія радія на глазъ. Трубочка съ радіемъ, помѣщенная въ совершенно непрозрачную картонную коробочку, дѣйствуетъ на глазъ; слѣд. лучи радія способны проникать чрезъ непрозрачныя тѣла и производить свѣтовое ощущеніе; трубочка, конечно, не видна; въ глазу не получается отчетливаго изображенія: подъ дѣйствіемъ лучей, испускаемыхъ радіемъ, вещества, составляющія глазъ, луминесцируютъ. Дѣйствительно, достаточно трубочку съ радіемъ приложить къ виску, чтобы вызвать такую же луминесценцію, какъ если бы лучи дѣйствовали прямо на глазъ. Слѣпые, у которыхъ ретина не подвергается непосредственному дѣйствію лучей, ощущаютъ луминесценцію, возбужденную радіемъ.

Дѣйствіе на эпидерму можетъ быть очень опасно. Чрезъ нѣкоторое время (различное, смотря по субъекту) появляется краснота въ томъ мѣстѣ кожи, на которое падали лучи; если радій очень активенъ, краснота появляется немедленно и недѣли чрезъ двѣ здѣсь образуется глубокая рана.

Лучи радія дѣйствуютъ также на мозгъ. Послѣ часового дѣйствія у крысъ и мышей развивается полный параличъ; менѣе, чѣмъ въ сутки, они убиваются сильно дѣйствующимъ радіемъ. На молодыя животныя радій дѣйствуетъ сильнѣе, чѣмъ на старыя, вѣроятно потому, что у взрослыхъ кожа и черепъ толще и болѣе предохраняютъ мозговое вещество. Но послѣ трепанаціи, когда мозгъ открытъ непосредственному дѣйствію лучей, всѣ животныя—молодыя и старыя—подвергаются параличу. X-лучи

дѣйствуютъ подобнымъ же образомъ; люди, которые радіографировали свою голову, избѣгли паралича, вѣроятно, только благодаря толщинѣ своего черепа.

Самопроизвольное отдѣленіе тепла. Радій самопроизвольно выдѣляетъ теплоту, какъ это видно изъ слѣдующаго опыта. Въ одну изъ двухъ одинакихъ колбъ (фиг. 2) вѣшаютъ трубочку съ радіемъ, а въ другую трубочку съ баріемъ; кромѣ того въ каждую колбу помѣщаютъ по одному спаю термоэлектрическаго элемента, концы котораго соединены съ гальванометромъ; колба съ радіемъ постоянно показываетъ избытокъ температуры на 1·5°.



фиг. 2.

Кюри измѣрилъ количество тепла, выдѣляемаго радіемъ; чашечка съ радіемъ помѣщалась на опредѣленное время въ калориметръ, который отъ этого нагрѣвался; затѣмъ радій удалялся и его замѣняли проволокою, чрезъ которую пропускали электрическій токъ, который бы вызвалъ такое же нагрѣваніе калориметра; измѣривъ величину этого тока, можно было вычислить выдѣленную теплоту. При этомъ калориметромъ служилъ сосудъ съ пустыми стѣнками, который употребляютъ для сохраненія жидкаго воздуха.

Кюри сдѣлалъ также измѣренія съ помощью калориметра Бунзена, въ который опускался радій, предварительно охлажденный до 0°; при этомъ наблюдалось перемѣщеніе столбика ртути на одинъ или два центиметра въ часъ. Отсюда можно было вывести заключеніе, что 1 gr. радія выдѣляетъ около 100 gr-cal. въ часъ.

Итакъ радій испускаетъ такое количество тепла, которое далеко не ничтожно: въ теченіе часа 1 gr. радія превращаетъ въ воду 1 gr. льда. Одна граммо-молекула радія испускаетъ въ теченіе часа 18000 gr-cal., т. е. количество тепла того же порядка, какъ то, которое выдѣляется при соединеніи 1 gr. водорода съ 8 gr. кислорода (34200 gr-cal.). Это выдѣленіе тепла не соотвѣтствуетъ какому-нибудь химическому измѣненію тѣла; или же это измѣненіе совершается на столько медленно, что недоступно наблюденіямъ одного экспериментатора: человѣческая жизнь слишкомъ коротка, чтобы подобное измѣненіе могло быть замѣчено.

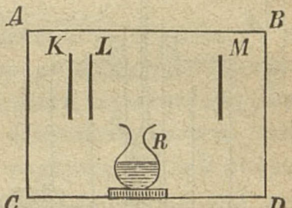
Дѣйствительно, Демарсэ чрезъ большіе промежутки времени наблюдалъ линіи спектра радія и не замѣтилъ никакихъ измѣненій.

Если нѣтъ химическихъ измѣненій, то можетъ быть, что количество энергіи, соотвѣтствующее испускаемой теплотѣ, заимствуется извнѣ: возможно, что радій въ большей степени, чѣмъ другія тѣла, обладаетъ способностью задерживать и накоплять въ себѣ особыя радіаціи, пронизывающія пространство.

Наведенная радіоактивность. Радій можетъ сообщать свою активность другимъ тѣламъ или наводить въ нихъ самихъ активность; такая активность называется *наведенною.* Супруги Кюри замѣтили, что тѣла, помѣщенныя вблизи трубки съ радіемъ, становятся сами радіоактивными. Эта наведенная активность всегда слабѣе активности радія и довольно скоро исчезаетъ.

Для изслѣдованія наведенной радіоактивности и опредѣленія закона, по которому она измѣняется со временемъ, можно употребить общій пріемъ Кюри. Извѣстно, что радіоактивныя вещества дѣлаютъ воздухъ электропроводящимъ. Слѣдовательно если такое тѣло помѣстить между обкладками конденсатора, изъ коихъ одна заряжена до 500 volt, а другая отведена къ землѣ, то воздухъ между ними дѣлается проводящимъ и здѣсь образуется постоянный токъ. Активированную пластинку можно взять въ качествѣ одной изъ обкладокъ конденсатора.

Активность въ пластинкѣ *L* (фиг. 3) наводится всего сильнѣе, если ее вмѣстѣ съ *открытымъ* сосудомъ *R*, содержащимъ растворъ соли радія, помѣстить въ замкнутое пространство *ABCD*.



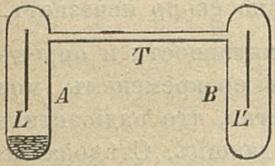
фиг. 3.

Можно доказать, что активность наводится не только лучами, испускаемыми радіоактивнымъ тѣломъ. Дѣйствительно, если предыдущій опытъ сдѣлать съ *запаяннымъ* сосудомъ *R*, чрезъ стѣнки котораго беккерелевскіе лучи проходятъ очень свободно, то пластинка *L* активируется лишь очень слабо. Отсюда слѣдуетъ, что активность наводится чѣмъ-то, выдѣляющимся изъ радіоактивнаго тѣла и распространяющимся по воздуху или пустому пространству. Наведенная радіоактивность не зависитъ отъ размѣровъ отверстія сосуда, который можетъ даже оканчиваться тонкою трубочкою, но она, повидимому, за-

виситъ отъ объема раствора, которымъ пользуются. *Наведенная активность увеличивается вмѣстѣ съ объемомъ активнаго раствора.*

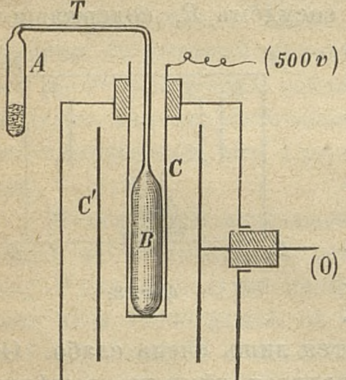
Кюри и Дебьернъ нашли, что всѣ тѣла—мѣдь, алюминій, бумага, воскъ—активируются одинаково: всѣ они принимаютъ предѣльную активность. Это напоминаетъ въ извѣстномъ смыслѣ испареніе жидкости: подобно тому, какъ въ замкнутомъ пространствѣ съ жидкостью упругость пара не возростаетъ выше извѣстнаго предѣла, соотвѣтствующаго насыщенію этого пространства, такъ и тѣла, помѣщенныя внутри оболочки, не активируются выше извѣстнаго предѣла.

Впрочемъ однимъ обстоятельствомъ предѣльная наведенная активность рѣзко отличается отъ давленія пара: наведенная активность зависитъ отъ размѣровъ свободнаго пространства, окружающаго данное тѣло; такъ внутри одной оболочки и въ присутствіи одного активнаго тѣла пластинки K и L активируются слабо, пластинка M сильнѣе. Между тѣмъ всѣ явленія, обусловливаемыя давленіемъ, независимы отъ формы стѣнокъ и зависятъ только отъ объема.



фиг. 4.

Распространеніе. Наведенная радіоактивность можетъ далеко распространяться даже по капиллярнымъ трубкамъ. Такъ если въ сосудъ A (фиг. 4) съ активнымъ растворомъ помѣстить пластинку L, а въ сосудъ B, соединенный съ первымъ узкою и длинною трубкою T, помѣстить пластинку L', то, спустя нѣкоторое время, пластинка L' становится столь же активною, какъ L.



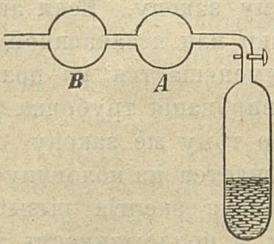
фиг. 5.

Въ самихъ стѣнкахъ стекляннаго сосуда наводится активность. Если сосудъ A (фиг. 5), содержащій активное вещество, соединить съ сосудомъ B длинною и тонкою трубочкою T, то послѣдній сосудъ испускаетъ беккерелевскіе лучи. Чтобы изслѣдовать лучеиспусканіе этого сосуда, его помѣщаютъ внутрь алюминіеваго цилиндра C,

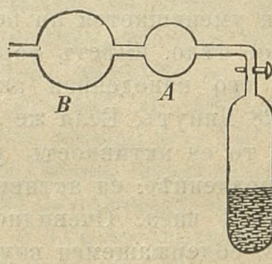
заряженнаго до 500 volt и окруженнаго другимъ металлическимъ цилиндромъ C', отведеннымъ къ землѣ. Лучи, испускаемые сосудомъ *B* и проходящіе чрезъ алюминіевый цилиндръ *C*, дѣлаютъ окружающій воздухъ проводящимъ, такъ что между обкладками устанавливается электрическій токъ.

Теперь простыми опытами можно подтвердить законы, указанные въ концѣ предыдущаго параграфа.

Сосуды равныхъ объемовъ одинаково активируются, въ какомъ бы разстояніи они ни находились отъ источника активности. Такъ сосудъ *B* (фиг. 6) столь же сильно активируется, какъ и сосудъ *A*, хотя первый сосудъ и дальше отъ активнаго источника, чѣмъ второй.



фиг. 6.



фиг. 7.

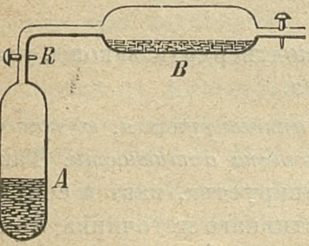
Сосуды разной величины активируются различно: большій сосудъ активируется сильнѣе. Такъ сосудъ *B* (фиг. 7) активируется сильнѣе, чѣмъ сосудъ *A*.

Фосфоресценція. Наведенная радіоактивность вызываетъ въ нѣкоторыхъ тѣлахъ луминесценцію или фосфоресценцію. Стекло, ціанисто-платиновый барій, сѣрнистый цинкъ луминесцируютъ подъ дѣйствіемъ беккерелевскихъ лучей. Сѣрнистый цинкъ представляетъ особенно интересное явленіе: содержащій его сосудъ напоминаетъ хорошую круксовскую трубку, когда по ней проходитъ электрическій токъ.

Пользуясь сѣрнистымъ цинкомъ, можно даже многочисленной аудиторіи показать радіактивность газовъ. Сосудъ *A* (фиг. 8), наполненный воздухомъ, содержитъ радіоактивное вещество; при помощи трубки съ краномъ *R* онъ соединенъ съ сосудомъ *B*, въ которомъ помѣщенъ сѣрнистый цинкъ. Воздухъ изъ сосуда *B* выкачивается; затѣмъ отворяютъ кранъ *R*; воздухъ изъ *A* устремляется въ *B* и сообщаетъ луминесценцію сѣрнистому цин-

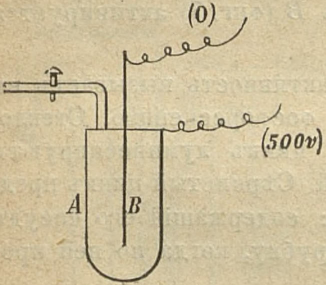
ку. Чрезъ короткое время сосудъ *B* принимаетъ указанный выше видъ.

Затѣмъ Кюри показываетъ нѣсколько стеклянныхъ трубокъ, только-что активированныхъ; въ темнотѣ всѣ онѣ слабо свѣтятся.



фиг. 8.

Роль газа. Такъ какъ въ стѣнкахъ сосуда и въ наполняющемъ его газѣ наводится активность, то важно узнать какую роль играетъ при этомъ природа газа. Всякое тѣло, извлеченное изъ оболочки, внутри которой оно активировалось радіемъ, теряетъ съ теченіемъ времени свою активность, которая уменьшается по показательному закону. Если активированное тѣло, имѣетъ форму пластинки или незапаянной трубки, то его наведенная активность уменьшается на половину чрезъ 28 минутъ. Если же послѣ активированія трубочка запаивается, то ея активность убываетъ по тому же закону, но гораздо медленнѣе: ея активность уменьшается на половину лишь чрезъ 4.24 часа. Очевидно, радіоактивная энергія вызывается въ газѣ, содержащемся внутри трубки, и поддерживаетъ активность стѣнокъ. И дѣйствительно, если изъ активированной трубочки сначала выкачать воздухъ, а затѣмъ уже ее запаять, то активность трубочки убываетъ по первому закону, т. е. уменьшается на половину чрезъ 28 минутъ.



фиг. 9.

Роль, которую въ данномъ случаѣ играетъ заключающійся въ трубочкѣ газъ, можно показать слѣдующимъ опытомъ. Активируютъ металлическій сосудъ *A* (фиг. 9), внутрь котораго опущенъ изолированный электродъ *B*; сосудъ и электродъ вмѣстѣ составляютъ конденсаторъ, обкладки котораго поддерживаются при разности потенціаловъ въ 500 volt. Такъ какъ внутри сосуда воздухъ дѣлается проводящимъ, то между обкладками устанавливается постоянный токъ i_1, обусловливаемый одновременнымъ дѣйствіемъ стѣнокъ сосуда и содержащагося въ немъ газа. Затѣмъ изъ сосуда выкачиваютъ воздухъ и тогда устанав-

ливается токъ $i_2 = i_1/6$. Отсюда слѣдуетъ, что 5/6 активности была обязана газу и 1/6—стѣнкамъ.

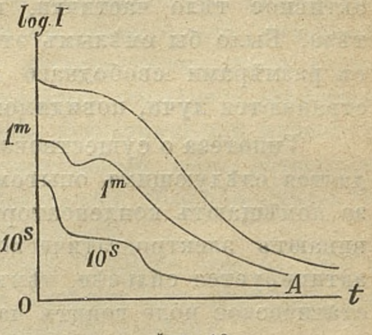
Потеря активности тѣломъ. Представимъ себѣ закрытую трубку, которую сперва активируютъ радіемъ, а затѣмъ помѣщаютъ внутрь цилиндрическаго конденсатора; если опредѣлить какъ съ теченіемъ времени (t) измѣняется напряженіе лучеиспусканія (I), то найдемъ, что

$$I = I_0 e^{-t/\theta},$$

гдѣ I_0 начальное напряженіе и θ—постоянная. Если на оси абсцисъ откладывать время t, а на ординатахъ $\log I$, то законъ потери активности выразится прямою, опускающеюся вправо. Нѣкоторые опыты продолжались до 20 дней (въ теченіе которыхъ активность уменьшалась до 1/27 начальной), но законъ оставался вѣрнымъ. Изъ многочисленныхъ опытовъ, которые дѣлались при самыхъ различныхъ условіяхъ (напр. температура испытуемаго тѣла измѣнялась въ предѣлахъ отъ 450° до—180°) и для θ получалось всегда одно и то же значеніе, именно $\theta = 4{\cdot}97.10^5$ sec. Отсюда слѣдуетъ, что активность трубочки, заключающей въ себѣ активированный газъ, уменьшается на половину чрезъ 4.24 *h*.

Приведенныя выше числа—28 m. и 4.24 *h*—характеризуютъ потерю активности тѣлъ, когда эта активность была наведена радіемъ; когдл же активность наводится торіемъ или актиніемъ, то имѣютъ мѣсто другія числа. Активность, аккумулированная газомъ, уменьшается на половину чрезъ 4.24 *h*., 1·2 m. или 1 sec., когда она была наведена радіемъ, торіемъ или актиніемъ; активность твердыхъ тѣлъ, вызванная этими веществами, уменьшается наполовину чрезъ 28 m. 11 *h* или 36 m.

Начальная форма кривой измѣняется въ зависимости отъ того времени, въ теченіе котораго тѣло активировалось. Если продолжительность активированія была мала, напр. 10*s*, кривая *A* (фиг. 10) опускается уступами. При болѣе долгомъ активированіи кривая *B* представляетъ minimum и слѣдующій за нимъ maximum. Наконецъ послѣ активированія въ продолженіе нѣскольких минутъ, кривая *C* принимаетъ правильное теченіе.



фиг. 10

Выдѣленіе. Все изложенное выше показываетъ, что существуютъ постоянныя времени, характеристичныя для наведенной радіоактивности. Рутерфордъ, изучившій эти явленія на торіи, объясняетъ активность въ газахъ выдѣленіемъ (emanation); по его мнѣнію активное тѣло выдѣляетъ изъ себя какой-то газъ, который распространяется по окружающему пространству. Лишенный всѣхъ физическихъ свойствъ, этотъ газъ еще болѣе инертный, чѣмъ азотъ, занимаетъ мѣсто рядомъ съ аргономъ. Кюри, принимая терминъ—„выдѣленіе", понимаетъ его, какъ *радіоактивную энергію, испускаемую активными тѣлами въ той особой формѣ, въ которой она накопляется въ газахъ и въ пустотѣ.*

Вліяніе температуры. Представимъ себѣ двѣ оболочки одинаково активированныя и сообщающіяся между собою; если одну изъ нихъ нагрѣть до 300°, а другую охладить до 0°, то послѣдняя дѣлается болѣе активною. Если конецъ активной трубки *A* (фиг. 11) погрузить въ сосудъ *B* съ жидкимъ воздухомъ, активность сосредоточивается въ послѣднемъ; отрѣзавъ нижнюю часть трубки, мы найдемъ, что верхняя ея часть совершенно потеряла активность.



фиг. 11.

Способъ дѣйствія. Совокупность всѣхъ фактовъ, установленныхъ опытомъ, позволяетъ составить себѣ представленіе о томъ, какъ возникаетъ наведенная радіоактивность. Тутъ безъ сомнѣнія имѣетъ мѣсто лучеиспусканіе, ибо если бы все зависѣло отъ наибольшаго давленія, то относительное разстояніе активированныхъ пластинокъ не имѣло бы значенія. Выбрасываетъ-ли активное тѣло частички, которыя затѣмъ ударяютъ въ другія тѣла? Было бы смѣлымъ это утверждать. Но явленіе, связанное съ размѣрами свободнаго пространства, въ которомъ распространяются лучи, повидимому зависитъ отъ величины потока.

Гипотеза о существованіи частичекъ какъ-будто подтверждается слѣдующимъ опытомъ. Если внутри активированнаго газа помѣщаютъ конденсаторъ, между обкладками котораго развиваютъ электростатическое поле, то отрицательная обкладка активируется сильнѣе, чѣмъ положительная, какъ-будто электростатическое поле гонитъ частички по своему направленію.

Кромѣ того новые опыты Дебьерна показали, что радіоактивность, наведенная актиніемъ, существенно зависитъ отъ раз-

стоянія активнаго тѣла отъ активируемыхъ пластинокъ. Если же между двумя пластинками, находящимися подъ дѣйствіемъ актинія, развиваютъ магнитное поле, то одна изъ пластинокъ активируется сильнѣе, какъ-будто—подъ вліяніемъ поля—лучи, испускаемые актиніемъ, слѣдуютъ закону закатодныхъ лучей (Canalstrahlen) Гольдштейна и отклоняются въ сторону обратную той, въ которую отклоняются катодные лучи.

Послѣднія гипотезы. Для объясненія описанныхъ выше фактовъ супруги Кюри предложили цѣлый рядъ гипотезъ, изъ коихъ нѣкоторыя не лишены интереса.

Одна изъ этихъ гипотезъ состоитъ въ томъ, что матерія не постоянна, но находится въ состояніи медленной эволюціи. Радіоактивныя тѣла отличаются отъ остальныхъ лишь болѣе быстрою эволюціею. Гипотеза Рутерфорда, объясняющая радіоактивность выдѣленіемъ инертнаго газа, возможна. Но, если газъ выдѣляется и слѣд. имѣетъ мѣсто химическій процессъ, какъ объяснить, что это явленіе не зависитъ отъ температуры въ широкихъ предѣлахъ отъ -180^0 до 450^0? Другого химическаго процесса, столь независящаго отъ температуры, мы до сихъ поръ не знаемъ.

Другая гипотеза состоитъ въ томъ, что радіоактивныя тѣла накопляютъ въ себѣ энергію, поглощая неизвѣстные лучи, которые постоянно пронизываютъ пространство.

2. Лекція *В. Кремьё* и *Г. Пендера: Объ электрической конвекціи* [1]).

Извѣстно, что электрическій токъ обусловливается количествомъ электричества, проходящимъ въ одну секунду чрезъ данное мѣсто, все равно будетъ-ли это электричество *проводиться*, какъ въ обыкновенномъ токѣ, или же *переноситься* матеріальнымъ тѣломъ; такое перемѣщеніе электростатическаго заряда вмѣстѣ съ его матеріальнымъ носителемъ образуетъ *конвективный* токъ или *электрическую конвекцію* (электрическій переносъ). По представленіямъ Максвелля *конвективный токъ равносиленъ обыкновенному*, и всѣ явленія, вызываемыя обыкновеннымъ токомъ, должны вызываться и конвективнымъ.

Въ подтвержденіе этого положенія Роландъ еще въ 1876 г., работая въ берлинской лабораторіи Гельмгольца, доказалъ, что конвективный токъ отклоняетъ магнитную стрѣлку.

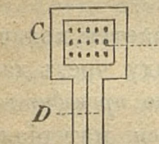
---

[1]) Conférence de MM. *V. Crémieu* et *H. Pender*—Sur la convection électrique.

Позолоченный съ обѣихъ сторонъ эбонитовый дискъ приводился въ быстрое вращеніе (61 обращеній въ 1 sec.) около вертикальной оси. Эта позолота, отдѣленная отъ оси, соединялась съ однимъ полюсомъ лейденской батареи. Надъ дискомъ подвѣшивалась нижняя стрѣлка астатической системы (двѣ стрѣлки въ разстояніи 18 cm. одна отъ другой), снабженная зеркальцемъ и заключенная въ латунную трубку, которая была отведена къ землѣ; нижняя стрѣлка этой системы была расположена перпендикулярно къ проходящему подъ нею радіусу диска. При заряженіи или перезаряженіи неподвижнаго диска стрѣлка не отклонялась; при вращеніи незаряженнаго диска—вслѣдствіе паразитныхъ токовъ—стрѣлка отклонялась по направленію вращенія диска; если же затѣмъ вращающійся дискъ заряжался, то отклоненіе стрѣлки измѣнялось на 5—8 дѣленій шкалы въ томъ направленіи, въ которомъ ее отклонилъ бы токъ, направленный по движенію положительнаго электричества или противъ движенія отрицательнаго электричества. Это отклоненіе не измѣнялось былъ-ли вращающійся дискъ сплошь покрытъ золотомъ или же его позолота была перерѣзана по ряду радіусовъ.

Въ 1884 г. Лехеръ пришелъ къ прямо противоположнымъ результатамъ. Въ 1889 г. Гимштетъ, а затѣмъ Роландъ и Гутчинсонъ еще разъ повторили эти опыты и подтвердили свойства электрической конвекціи.

Въ 1897 г. Липманъ поручилъ Кремьё повторить опыты Роланда; Кремьё пришелъ къ отрицательнымъ результатамъ и усомнился въ существованіи „роландовскаго эффекта". Вслѣдъ затѣмъ Кремьё поставилъ себѣ вопросъ: не оказываетъ-ли конвективный токъ другихъ дѣйствій, именно не вызываетъ-ли онъ индукціи? Съ этою цѣлью внезапно создавался конвективный токъ и наблюдали его дѣйствіе на сосѣдній проводникъ. Конвективный токъ образовывался перемѣщеніемъ заряда на дискѣ DD (фиг. 12), вращаемомъ около оси AA. Коаксіально съ дискомъ расположена проволочная катушка (съ 13000 оборотовъ), сѣченія коей показаны въ B, B и концы которой соединялись съ чувствительнымъ гальванометромъ. Дискъ и катушка помѣщены внутри металлической коробки CC; вмѣстѣ они образуютъ кон-



фиг. 12.

денсаторъ, внутреннею обкладкою котораго служитъ дискъ, а внѣшнею—коробка. Если дискъ быстро вращается и его вдругъ заряжаютъ, то внезапно создается конвекція, при чемъ долженъ наводиться токъ въ катушкѣ BB; если же вращающійся дискъ разрядить, то конвекціонный токъ устраняется, при чемъ въ катушкѣ B, B опять долженъ наводиться токъ противоположнаго направленія. Для того, чтобы усилить дѣйствіе прибора дискъ—при помощи особаго коммутатора—заряжался и разряжался нѣсколько разъ въ секунду и въ гальванометръ пропускались только тѣ токи, которые наводились въ катушкѣ при однихъ заряженіяхъ диска или при однихъ разряженіяхъ. Если бы предполагаемое дѣйствіе конвективнаго тока существовало, то стрѣлка гальванометра должна была бы отклоняться постоянно. Однако въ опытѣ Кремьё стрѣлка не отклонялась, хотя употреблявшійся при этомъ гальванометръ Томсона и былъ чрезвычайно чувствителенъ. Замѣтимъ, что для избѣжанія потери заряда въ воздухъ и искръ между коробкою и заключеннымъ въ ней дискомъ, послѣдній покрывался слоемъ изолятора (для чего онъ намазывался растворомъ каучука въ бензинѣ).

Когда Кремьё обнародовалъ результаты своихъ опытовъ, другіе физики занялись тѣмъ же вопросомъ и пришли къ противоположнымъ результатамъ. Такъ Адамсъ подтвердилъ отклоненіе магнитной стрѣлки подъ вліяніемъ быстраго движенія заряженныхъ сферъ; но числовыя результаты этихъ опытовъ не особенно надежны. Роландъ самъ принялся было за повтореніе своихъ опытовъ, но неожиданная смерть помѣшала довести ихъ до конца. Опыты продолжалъ одинъ изъ его учениковъ Пендеръ; ему удалось вполнѣ подтвердить всѣ выводы своего знаменитаго учителя.

Важный вопросъ объ электрической конвекціи занималъ изслѣдователей всѣхъ странъ. Пуанкаре, заинтересовавшійся вопросомъ съ самаго начала изслѣдованій Кремьё, предложилъ Институту пригласить Пендера пріѣхать въ Парижъ, гдѣ бы онъ и Кремьё повторили вмѣстѣ свои опыты. Благодаря содѣйствію Парижскаго университета, французскаго Института и Джонъ Гопкинскаго университета въ Бальтиморѣ, этотъ планъ могъ быть осуществленъ. Пендеръ принялъ приглашеніе и пріѣхалъ въ Парижъ; проф. Бути предоставилъ ученымъ помѣщеніе въ своей лабораторіи и всѣ необходимые приборы. Результаты из-

слѣдованій, сдѣланныхъ совмѣстно Пендеромъ и Кремьё, и были предметомъ настоящаго доклада.

Изслѣдователи начали съ повторенія опытовъ Кремьё надъ индукціею, но съ приборами Пендера; они установили, что *заряженіе или разряженіе вращающагося диска индуцируетъ токи*, качественно вполнѣ согласные съ тѣми, которые слѣдовало ожидать по теоріи. Обнаруженію этихъ индуктивныхъ токовъ много способствовалъ превосходный гальванометръ Пендера, по крайней мѣрѣ въ 20 разъ чувствительнѣе обыкновенныхъ томсоновскихъ гальванометровъ; коммутаторъ, служившій для заряженій и разряженій очень остроумно устроенъ и тоже не мало способствовалъ успѣху опытовъ. Тѣ же опыты, повторенные съ приборами Кремьё, не дали никакого отклоненія магнитной стрѣлки.

Затѣмъ были повторены опыты Роланда съ дисками Пендера; заряженные диски, будучи приведены во вращеніе, отклоняютъ магнитную стрѣлку согласно требованіямъ теоріи; но въ количественномъ отношеніи опытъ иногда сильно расходился съ теоріею; впрочемъ механическія и магнитныя условія Сорбонны очень неудовлетворительны и по неволѣ пришлось удовольствоваться качественными результатами.

Такъ какъ въ описываемыхъ опытахъ приходилось имѣть дѣло съ полемъ въ 10^{-6} электромагнитныхъ единицъ, то надо было имѣть астатическую систему очень чувствительную и въ то же время устойчивую; въ виду этого Кремьё и Пендеръ занялись устройствомъ новой астатической системы и устроили ее слѣдующимъ образомъ: горизонтальный стержень подвѣшивали за середину къ длинной и тонкой металлической проволокѣ; къ одному концу стержня прикрѣпляется вертикальный магнитъ (или система изъ 6 магнитовъ по 65 mm. длины, укрѣпленныхъ въ пробкѣ), а на другой конецъ насаживался латунный грузъ, уравновѣшивавшій магнитъ такъ, чтобы послѣдній былъ строго вертикаленъ; послѣ этого подвѣшенная система располагалась исключительно подъ вліяніемъ крученія проволоки, горизонтальная же составляющая магнитнаго поля не оказывала вліянія на систему. Такъ какъ нижній полюсъ вертикальнаго магнита помѣщался очень близко къ вращающемуся диску, то отклоненіе системы зависѣло главнымъ образомъ отъ дѣйствія диска на этотъ полюсъ; дѣйствіе же на верхній полюсъ ничтожно.

Общій результатъ опытовъ Кремьё и Пендера можно формулировать слѣдующимъ образомъ:

Металлическій дискъ, сплошной или раздѣленный на секторы, будучи наэлектризованъ и приведенъ во вращеніе въ своей плоскости, производитъ магнитныя дѣйствія, предвидимыя теоріею электрической конвекціи; въ количественномъ отношеніи согласіе достигаетъ 10%.

Итакъ магнитныя дѣйствія электрической конвекціи теперь внѣ всякаго сомнѣнія. Почему же Кремьё въ теченіе нѣсколькихъ лѣтъ получалъ отрицательные результаты? Причину этого слѣдуетъ приписать тѣмъ тонкимъ слоямъ изолятора, которыми онъ покрывалъ свои диски. Въ справедливости этого предположенія убѣждаютъ прямые опыты: въ опытѣ Пендера дѣйствія конвекціи значительно ослабляются, когда дискъ или внутреннія стороны коробки покрываются слоемъ изолятора; такъ Кремьё и Пендеръ нашли: 1) что при обнаженныхъ дискѣ и коробкѣ стрѣлка отклоняется на 140 mm., 2) при обнаженной коробкѣ и при дискѣ, покрытомъ слюдою, отклоненіе уменьшается до 110 mm. и 3) при дискѣ и коробкѣ, покрытыхъ слюдою, отклоненіе уменьшается до 15 mm.

Остается разъяснить такое вліяніе діэлектриковъ, чѣмъ и предполагаетъ заняться Кремьё въ ближайшемъ будущемъ.

(Окончаніе слѣдуетъ).

Изъ физическаго кабинета третьяго Московскаго кадетскаго корпуса

А. П. Постникова.

Въ рядѣ описываемыхъ ниже опытовъ указаны болѣе или менѣе оригинальные пріемы, которые были мною выработаны въ физическомъ кабинетѣ 3-го Московскаго кадетскаго корпуса. Эти опыты и употребляемые пріемы являются результатомъ многолѣтнихъ классныхъ демонстрацій и практическихъ внѣклассныхъ занятій съ учениками выпускнаго класса, обладающими уже достаточною подготовкою для подобныхъ занятій

Обстоятельства вынуждаютъ пока вести эти занятія лишь съ относительно небольшимъ числомъ учениковъ, сравнительно со всѣми желающими, изъ которыхъ приходится дѣлать очень строгій выборъ. При этомъ, обыкновенно къ срединѣ учебнаго года, выдѣляется сама собою группа особенно хорошихъ работниковъ, успѣвшихъ не только принаровиться къ практическимъ работамъ по курсу физики своего и предыдущихъ классовъ, но также получившихъ вкусъ и привычку пользоваться довольно широкими литературными пособіями.

Нѣкоторымъ изъ такихъ учениковъ достаточно дать лишь общую идею того или иного опыта, предоставляя имъ самимъ разрабатывать детали его, видоизмѣнять опытъ, проектировать свои новые опыты и т. п. Такимъ образомъ, напримѣръ, изъ ниже помѣщенныхъ опытовъ третій въ его окончательной формѣ—былъ выработанъ при участіи учениковъ послѣ цѣлаго ряда видоизмѣненій.

1. *Законъ диффузіи газовъ.* Если скорость диффузіи одного газа v_1, а другого v_2, плотность перваго d_1 и плотность второго d_2, то, какъ извѣстно,

$$v_1 : v_2 = \sqrt{d_2} : \sqrt{d_1} .$$

Напримѣръ, для случая *водорода* и *воздуха*, имѣемъ:

$$v_1 : v_2 = \sqrt{14{\cdot}43} : \sqrt{1} = 3{\cdot}8 ,$$

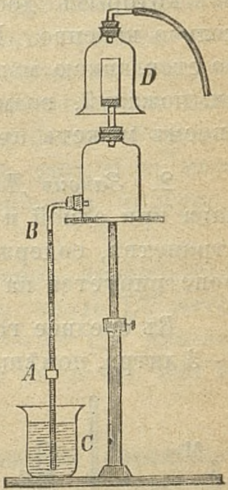
гдѣ v_1—скорость диффузіи водорода, v_2—скорость диффузіи воздуха и 14·43—плотность воздуха относительно водорода. Этотъ то случай диффузіи легко поддается наглядной опытной повѣркѣ въ слѣдующемъ видѣ.

Берутъ склянку (емкостью около 1 литра) съ тубусомъ, затыкаютъ резиновою пробкою съ продѣтою въ нее короткою стеклянною трубкою, на которую въ свою очередь насаживаютъ съ помощью резиновой же пробки небольшой глиняный цилиндръ изъ подъ гальваническаго элемента Даніэля (фиг. 1). Тубусъ тоже затыкается резиновою пробкою съ идущей отъ нея стеклянною трубкою (длиною около 1 метра), согнутою подъ прямымъ угломъ внизъ [1]). Склянка ставится на подъемную подставку и

---

[1]) Можно вмѣсто склянки съ тубусомъ брать простую двухгорлую, но тогда верхній конецъ длинной трубки надо согнуть такимъ образомъ и настолько, чтобы онъ спускался *до дна этой склянки.*

конецъ согнутой трубки опускается, напримѣръ, въ керосинъ, окрашенный въ красный цвѣтъ (алканнымъ корнемъ). На эту „манометрическую" трубку насаживается резиновое кольцо *A* (обрѣзокъ резиновой трубки), шириною въ 1 cm. или болѣе, которое продвигается вершка на два выше уровня керосина въ сосудѣ.



фиг. 1.

Если теперь на глиняный цилиндръ надвинуть охватывающую его вполнѣ стеклянную воронку *D* съ трубкою, идущей отъ аппарата Киппа съ водородомъ, и пустить газъ, то онъ диффундируетъ внутрь цилиндра гораздо быстрѣе обратной диффузіи воздуха, который начинаетъ тотчасъ же выходить чрезъ керосинъ пузырьками. Когда отдѣленіе ихъ прекратится, воронку снимаютъ, и водородъ начинаетъ диффундировать обратно изъ глинянаго цилиндра, при чемъ керосинъ быстро *поднимается* по вертикальной трубкѣ до нѣкоторой точки *B*, *пока не закончится диффузія водорода наружу*, послѣ чего начнется обратное, но уже *медленное движеніе* жидкости внизъ, продолжающееся *до окончанія диффузіи воздуха* внутрь цилиндра (въ дѣйствительности—нѣсколько долѣе, какъ замѣчено ниже). Счетъ времени ведется съ помощью метронома, маятникъ котораго сначала отклоняютъ, придерживая рукою, и, по снятіи съ глинянаго цилиндра воронки *D*, пускаютъ въ тотъ моментъ, когда поднимающійся въ манометръ столбикъ керосина поровняется съ кольцомъ *A*. Положимъ, что на прохожденіе керосиномъ разстоянія *AB* потребовалось 10 единицъ времени[1]). Тогда, *продолжая счетъ времени*, получимъ, что керосинъ, опускаясь въ манометрѣ, достигнетъ кольца *A* на 38-мъ ударѣ маятника. Отношеніе временъ диффузіи воздуха и водорода $= 38 : 10 = 3{\cdot}8$, т. е. какъ разъ отвѣчаетъ закону скоростей газовой диффузіи. Можно затѣмъ передвинуть кольцо *A* повыше и повторить опытъ, результатъ получится подобный же. Нельзя только считать начало движенія столбика керосина отъ самой поверхности его въ сосудѣ *C* или отъ точекъ недалекихъ отъ нея, такъ какъ опуска-

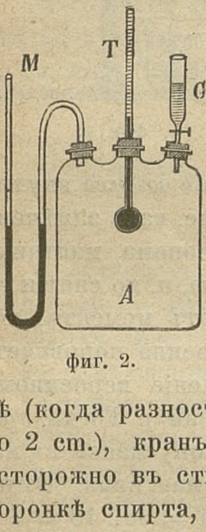
---

[1]) Это число легко можно регулировать предварительнымъ опытомъ, перемѣщая, насколько потребуется, грузикъ на маятникѣ метронома.

ніе керосина въ концѣ процесса замедляется, благодаря волосности, прилипанію жидкости къ стѣнкамъ сосуда и ея вязкости. При достаточной тщательности производства опыта (его можетъ вести одинъ человѣкъ безъ помощника) и чистотѣ матеріаловъ, изъ которыхъ добывается водородъ, опытъ протекаетъ замѣчательно красиво. Пользоваться однимъ глинянымъ цилиндромъ со стеклянною манометрическою трубкою безъ двухгорлой склянки, пожалуй, возможно, но рискованно: керосинъ при поднятіи своемъ можетъ проникнуть внутрь цилиндра.

2. *Законъ Дальтона.* Одинаковость давленія насыщеннаго пара при одной и той же температурѣ въ пустотѣ и въ пространствѣ, содержащемъ воздухъ, весьма удовлетворительно демонстрируется на слѣдующемъ простомъ приборѣ.

Въ среднее горло трехгорлой склянки *A* (фиг. 2), емкостью въ 2—3 литра, помѣщается вставленный въ резиновую пробку термометръ *T*; въ остальныя два горла, тоже съ помощью резиновыхъ пробокъ, вставляются: цилиндрическая воронка *C* съ краномъ и возможно узенькой трубкою [1]), и обыкновенный ртутный манометръ *M* изъ двухкратно согнутой стеклянной трубки. Склянку сначала охлаждаютъ, поставивши въ снѣгъ (или обливая ее понемногу эфиромъ), при чемъ предварительно запираютъ кранъ воронки и наливаютъ въ нее на 4—5 cm. высоты виннаго спирту. Когда манометръ покажетъ нѣкоторое сжатіе воздуха въ склянкѣ (когда разность уровней ртути въ его колѣнахъ будетъ около 2 cm.), кранъ воронки *понемногу* открываютъ и впускаютъ осторожно въ стклянку около половины всего содержащагося въ воронкѣ спирта, послѣ чего кранъ запираютъ, вынимаютъ склянку изъ снѣга, ставятъ на столъ и дожидаются, пока термометръ не поднимется до первоначальной температуры комнаты. При этомъ спиртъ въ склянкѣ мало по малу испаряется и манометръ покажетъ увеличеніе давленія внутри склянки, достигающее



фиг. 2.

[1]) Напримѣръ, обрѣзокъ одного изъ колѣнъ испорченнаго гофмановскаго вольтаметра.

минутъ чрезъ 10—15 до максимума около 4 cm. или немного болѣе.

Пока это происходитъ, производятъ совмѣстный сравнительный опытъ съ торичелліевою трубкою, въ барометрическую пустоту которой (отмѣтивши предварительно уровень ртути въ трубкѣ тонкимъ резиновымъ колечкомъ) вводятъ немного виннаго спирта[1]), частью остающагося надъ ртутью въ жидкомъ состояніи. Тогда уровень ртути въ трубкѣ установится ниже резиноваго колечка тоже на 4 cm. или немного болѣе. Разность уровней ртути, какъ въ торичелліевой трубкѣ, такъ и въ манометрѣ трехгорлой склянки, измѣряютъ при помощи циркуля и масштаба.

Вмѣсто виннаго спирта можно брать и эфиръ, только тогда надо имѣть манометръ съ колѣнами длиною около 1/2 метра, такъ какъ при комнатной температурѣ въ 18°—20° Ц., давленіе паровъ эфира подниметъ ртуть въ манометрѣ на 40 cm. или немного выше.

3. *Коэффиціентъ расширенія газовъ.* Опытное опредѣленіе коэффиціентовъ расширенія воздуха, углекислоты и нѣкоторыхъ другихъ газовъ можно производить слѣдующимъ крайне простымъ и нагляднымъ способомъ, дающимъ при томъ весьма удовлетворительные результаты.

Берется колба A (фиг. 3), емкостью въ 1 литръ или въ 500 куб. cm., затыкаемая резиновою пробкою[2]) со вставленною въ нее стеклянною трубочкою[3]), на которую плотно надвинутъ кусочекъ резиновой трубочки, длиною около 3 cm., съ нажимнымъ краномъ Мора a. Объемъ колбы вмѣстѣ съ трубочкою надо предварительно вымѣрить поточнѣе, напримѣръ, по вѣсу налитой въ нее (до конца резиновой трубочки) воды. Пусть этотъ объемъ $= V$.

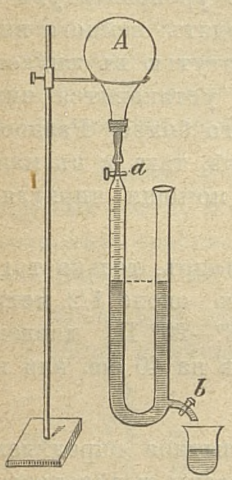
---

[1]) Во избѣжаніе нечаяннаго впуска въ трубку вмѣстѣ со спиртомъ воздуха, лучше вводить спиртъ не съ помощью пипетки, а налить его (около 1/2 cm.) поверхъ ртути въ трубкѣ, обращенной запаяннымъ концомъ внизъ, до краевъ, *надвинуть* палецъ на отверстіе и перевернуть трубку.

[2]) На шейкѣ колбы надо намѣтить тонкимъ подпилкомъ черту, до которой и вставляется всякій разъ пробка.

[3]) Ее надо вставить какъ разъ до уровня обрѣза пробки, обращеннаго внутрь колбы.

Высушивши хорошенько колбу (безъ пробки) надъ пламенемъ бунзеновской или спиртовой горѣлки, затыкаютъ ее пробкою, вкладываютъ въ резиновую трубочку кусочекъ гигроскопической ваты и ставятъ въ снѣгъ минутъ на 10. Когда можно быть увѣреннымъ, что воздухъ въ колбѣ охладился до 0° Ц., резиновую трубочку зажимаютъ краномъ Мора (конечно, удаливши изъ нея вату), вынимаютъ колбу изъ снѣга, обтираютъ насухо, опрокидываютъ на кольцо обыкновеннаго штатива и соединяютъ резиновою трубочкою съ верхнимъ краномъ *a* градуированнаго въ куб. cm. (и предварительно вывѣреннаго) *эвдіометра Гофмана*[1]), наполненнаго ртутью до верху (до крана *a*), при чемъ зажимъ Мора сдвигается. Затѣмъ открываютъ кранъ *a* эвдіометра и выжидаютъ, пока не закончится расширеніе заключеннаго въ колбѣ *A* воздуха, постепенно нагрѣвающагося до комнатной температуры. При этомъ надо время отъ времени выпускать избытокъ ртути чрезъ кранъ *b* эвдіометра, поддерживая на одной высотѣ уровни ртути въ обоихъ его колѣнахъ и приводя такимъ образомъ упругость расширяющагося воздуха къ давленію одной атмосферы. Когда расширеніе это прекратится, замѣчаютъ число куб. cm. на уровнѣ ртути въ эвдіометрѣ, т. е. объемъ v, на который увеличился первоначальный объемъ V воздуха при 0°. Пусть наблюдаемая температура комнаты въ это время $= t$. Тогда искомый коэффиціентъ расширенія воздуха будетъ: $\alpha = v/Vt$.



фиг. 3.

Такъ, при одномъ опытѣ съ колбою, емкостью въ 503 куб. cm, при $t = 18°$ Ц. (термометръ былъ взятъ безъ дѣленій на доли градуса), оказалось: $v = 32$ куб. cm. Поэтому: $\alpha = 32/503.18 = 0{\cdot}00354$, что весьма близко къ общепринятому числу (0·00366).

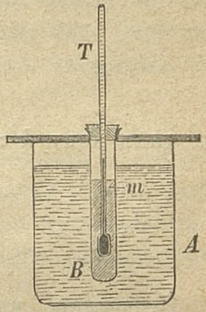
При опытахъ съ углекислотою, кислородомъ и водородомъ, эти газы надо предварительно пропускать чрезъ хлористый каль-

[1]) Такой эвдіометръ имѣется почти во всякомъ физическомъ кабинетѣ. Стоитъ онъ руб. 10—12 со штативомъ.

цій и затѣмъ проводить въ колбу A чрезъ трубку, доходящую до самаго дна ея[1]). Остальныя манипуляціи въ общемъ тѣ же, что и для воздуха.

4. *Опредѣленіе теплоемкости по способу приведенія къ одной температурѣ.* Этотъ способъ примѣняется мною при практическихъ работахъ учениковъ, главнымъ образомъ, для нахожденія удѣльной теплоты жидкостей, и по идеѣ представляетъ видоизмѣненіе, такъ называемаго, „способа охлажденія" (Erkältungsmethode), вмѣсто котораго только производится нагрѣваніе испытуемыхъ веществъ. Способъ состоитъ въ слѣдующемъ.

Берутъ тонкостѣнную довольно широкую (около 3·5 cm. въ поперечникѣ) пробирку и дѣлаютъ на ней алмазомъ или тонкимъ подпилкомъ поперечную мѣтку, приблизительно, на 1/3 длины пробирки, считая отъ ея отверстія. Въ пробирку наливаютъ *до мѣтки* испытуемую жидкость, положимъ, ртуть, вводятъ до средины ея массы термометръ, вставленный въ пробку, затыкаютъ этою пробкою пробирку и ставятъ въ сосудъ со снѣгомъ, погружая въ него почти до пробки[2]). Когда термометръ понизится до 0° Ц. и можно быть увѣреннымъ, что вся масса ртути охладилась до этой температуры, пробирку быстро переносятъ въ приготовленный заранѣе, по возможности большой сосудъ A (фиг. 4) съ водою комнатной температуры, отмѣчая этотъ моментъ времени по часамъ. Затѣмъ слѣдятъ за повышеніемъ столбика ртути въ термометрѣ до какой-либо условной температуры, близкой къ комнатной, напр., до 15° Ц., отмѣчаютъ снова моментъ достиженія этой температуры и такимъ образомъ опредѣляютъ промежутокъ времени τ, въ теченіе котораго нагрѣвалась пробирка со всѣмъ ея содержимымъ.



фиг. 4.

---

[1]) При наполненіи водородомъ, колба опрокидывается вверхъ дномъ и въ такомъ положеніи по окончаніи наполненія затыкается пробкою, трубочка которой соединена съ аппаратомъ Киппа; послѣ этого колба перевертывается и зарывается въ снѣгъ для охлажденія.

[2]) Въ снѣгу надо предварительно сдѣлать углубленіе, соотвѣтствующее размѣрамъ пробирки.

По окончаніи опыта со ртутью, послѣднюю замѣняютъ водою, налитою до той же мѣтки M на пробиркѣ, и повторяютъ весь опытъ въ томъ же порядкѣ, послѣ чего находятъ время τ', въ теченіе котораго пробирка съ водою нагрѣется *до той же условной температуры* (до 15° Ц.), какъ и раньше со ртутью. Очевидно, что количества теплоты, получаемыя пробиркою съ ея содержимымъ изъ окружающей среды въ первомъ и во второмъ опытахъ, при одинаковыхъ условіяхъ нагрѣванія, должны быть прямо пропорціональны временамъ τ и τ'. Въ обоихъ опытахъ вода и ртуть занимаютъ одинакіе объемы V; слѣд. масса и теплоемкость воды будутъ V, а масса и теплоемкость ртути Vd и Vdc, гдѣ d плотность и c удѣльная теплота ртути; обозначая еще чрезъ Vk теплоемкость пробирки и чрезъ t число градусовъ, на которое пробирка нагрѣвается въ теченіе опыта, можемъ написать:

$$\tau : \tau' = (Vdc + Vk)\,t : (V + Vk)t$$

откуда

$$c = \frac{1}{d\tau'}\left\{\tau + k(\tau - \tau')\right\} \tag{1}$$

или, такъ какъ $k(\tau - \tau')$ очень мало сравнительно съ τ,

$$c = \frac{\tau}{d\tau'}\,. \tag{2}$$

Нетрудно, впрочемъ, вычислить съ достаточною приближенностью и самый коэффиціентъ k, для чего требуется лишь произвести дополнительный третій опытъ съ пустою пробиркою и вставленнымъ въ нее термометромъ. Охладивши ихъ сначала снѣгомъ до 0°, быстро наливаютъ въ пробирку почти до пробки (нѣсколько приподнявши послѣднюю) воды комнатной температуры (изъ другой заранѣе приготовленной пробирки), тотчасъ же вынимаютъ пробирку изъ снѣга, отмѣчая время, быстро обтираютъ снаружи и опредѣляютъ промежутокъ времени τ'', въ теченіе котораго термометръ поднимется до условной температуры t (до 15°). Тогда изъ новаго уравненія $\tau'' : \tau' = kt : (1+k)t$ опредѣляемъ $k = \tau'/(\tau' - \tau'')$ и подставляемъ это значеніе k въ (1). Для большей точности измѣреній, надо пользоваться термомет-

ромъ съ дѣленіями, по крайней мѣрѣ, на пятыя доли градуса. При работахъ съ учениками, предпочтительнѣе пользоваться всегда одною и тою же пробиркою и однимъ и тѣмъ же термометромъ. Тогда время τ' и теплоемкость k могутъ быть разъ на всегда опредѣлены изъ нѣсколькихъ предварительныхъ опытовъ, и для нахожденія удѣльныхъ теплотъ разныхъ жидкостей (ртути, винного спирта, терпентина, прованскаго масла и т. п.) достаточно всякій разъ производить лишь опредѣленіе времени τ, соотвѣтствующаго испытуемой жидкости.

Изложенный способъ примѣнимъ и для нахожденія удѣльной теплоты твердыхъ тѣлъ, хотя даетъ уже не столь удовлетворительные результаты[1]). Испытуемое тѣло надо брать въ видѣ опилокъ или зеренъ (мѣдь, свинецъ, цинкъ, олово и т. п.), которыя насыпаются въ пробирку почти до мѣтки, послѣ чего приливаютъ въ пробирку еще немного воды *какъ разъ до мѣтки*[2]). Эту воду лучше выпускать изъ бюретки, замѣчая ея объемъ. Тогда, если надо будетъ находить теплоемкость k, то, при дополнительномъ опытѣ придется добавлять въ пробирку со вложеннымъ въ нее термометромъ столько же воды изъ бюретки, сколько было ее добавлено ранѣе, при опытѣ съ твердымъ тѣломъ.

5. *Видоизмѣненныя зеркала Пикте́ для классныхъ и лекціонныхъ опытовъ.* Обыкновенныя металлическія зеркала Пикте́, устанавливаемыя вертикально, представляютъ много практическихъ неудобствъ, которыя, однако, нетрудно устранить слѣдующими простыми приспособленіями.

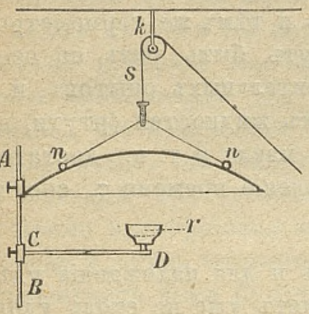
Одно изъ зеркалъ отдѣляютъ отъ подставки, удаляютъ припаянный къ нему шарниръ, на которомъ оно держится и вращается, и припаиваютъ вмѣсто него три латунныхъ ушка n

---

[1]) Обыкновенно получаются числа *меньшія* истинныхъ на нѣсколько тысячныхъ долей.

[2]) Надо добиться, чтобы эта вода вытѣснила *весь воздухъ* между зернами испытуемаго тѣла, для чего лучше всего слегка подогрѣвать пробирку въ разныхъ ея мѣстахъ. Резервуаръ термометра долженъ быть весь погруженъ въ массу зеренъ.

(фиг. 5). За эти ушки (изъ которыхъ на изображенномъ схематическомъ разрѣзѣ зеркала видно только два) зеркало подвѣшивается съ помощью трехъ проволокъ къ шнуру *s*, перекинутому чрезъ ввинченный въ потолокъ комнаты блокъ *k*. Такимъ образомъ зеркало можно, по мѣрѣ надобности, поднимать и спускать. На краю зеркала укрѣпляется еще латунный стержень *AB*, вдоль котораго можетъ перемѣщаться и закрѣпляться на любой высотѣ другой стержень *CD* съ придѣланной къ нему наглухо латунною же чашкою, центиметровъ 10—12 въ поперечникѣ. На имѣющіяся въ ней заплечики кладется мѣдная сѣтка *r*[1]). Чашку располагаютъ въ фокусѣ зеркала.



фиг. 5.

У другого зеркала укорачиваютъ, насколько возможно, подставку и перепаиваютъ шарниръ на средину зеркала, которое располагаютъ на столѣ, какъ разъ подъ первымъ висящимъ зеркаломъ, устанавливая горизонтально или же подъ угломъ 45° [2]).

Пользуясь такими зеркалами, можно производить опыты съ отраженіемъ, какъ звука, такъ и лучистой теплоты. Для перваго опыта на сѣтку подвѣшеннаго зеркала кладутъ карманные часы, а нижнее зеркало наклоняютъ подъ 45°; тогда стоящій около этого зеркала отчетливо слышитъ тиканье часовъ. Для второго опыта, на сѣтку подвѣшеннаго зеркала кладется достаточно крупный кусокъ или нѣсколько кусковъ раскаленнаго кокса, а въ фокусѣ нижняго зеркала помѣщаютъ распластанный комокъ пироксилина (на длинномъ мѣдномъ стержнѣ, оканчивающимся пинцетомъ), окрашеннаго въ черный цвѣтъ спиртовымъ

---

[1]) Хорошо, кромѣ того, придѣлывать къ чашкѣ вблизи ея дна отходящую вбокъ небольшую мѣдную трубочку. На нее, если понадобится, можно надѣвать съ помощью деревяннаго мундштучка длинную резиновую трубку съ шарикомъ на другомъ концѣ, для вдуванія въ чашку воздуха.

[2]) Всѣ эти приспособленія можетъ сдѣлать любой слесарь. Такія зеркала можно найти у бр. Трындиныхъ въ Москвѣ, по цѣнѣ отъ 30 руб. и выше, смотря по размѣрамъ.

растворомъ нигрозина. Хорошо удается также опытъ съ кажущимся отраженіемъ холода; для этого въ чашку верхняго зеркала помѣщаютъ закрытую крышкой (съ небольшимъ въ ней отверстіемъ) невысокую цилиндрическую жестянку подходящихъ размѣровъ, въ которую наложена охлаждающая смѣсь изъ снѣга и аміачной селитры или, еще лучше, твердая углекислота, облитая сѣрнымъ эфиромъ; въ фокусѣ же пріемнаго зеркала помѣщается закопченный шарикъ воздушнаго термометра.

Москва, мартъ, 1903 г.

Физическій кабинетъ.

5) *Явленіе тѣни и полутѣни.* Волшебный фонарь безъ объектива закрывается ширмою съ небольшимъ круглымъ отверстіемъ (около 5 mm. въ діаметрѣ). Въ проходящій конусъ свѣта на разстояніи около 50 cm. помѣщается шаръ діаметромъ въ 4 cm. На помѣщенномъ вблизи экранѣ получается рѣзкая круглая тѣнь шара. Если взять ширму съ нѣсколькими отверстіями, расположенными въ вершинахъ многоугольника, то получаемъ рядъ тѣней, отчасти покрывающихъ одна другую; тогда общее мѣсто тѣней представляетъ „тѣнь", а остальное затемненное пространство—„полутѣнь".

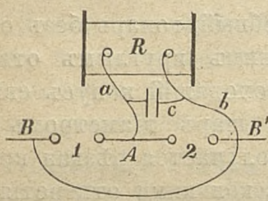
6) *Законъ Архимеда* въ газахъ весьма удобно показывать съ помощью мыльныхъ пузырей. Пузырь, выдутый ртомъ (слѣд. наполненный воздухомъ), падаетъ въ воздухѣ; если пустить его въ широкій сосудъ, наполненный угольною кислотою, то онъ плаваетъ, не опускаясь до дна. Пузырь, выдутый на концѣ трубки, приводящей свѣтильный газъ, отрывается отъ нея и поднимается вверхъ въ воздухѣ. Выдувая такой пузырь на алюминіевомъ колечкѣ, можно заставить такой пузырь поднимать за собою колечко. Для наглядности къ колечку привязывается ниточка съ бумажнымъ флагомъ.

7) *Отраженіе звука.* Отраженіе звука отъ зеркала Пикте́ можно демонстрировать цѣлому классу одновременно; для этого въ фокусѣ одного зеркала помѣщаютъ свистокъ, издающій очень

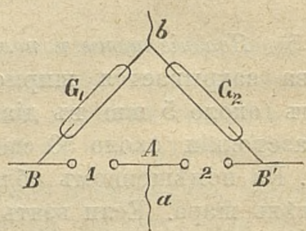
высокій тонъ, а въ фокусѣ другого зеркала—манометръ Кундта, обративъ его воронкою къ этому зеркалу. Когда свистокъ издаетъ звукъ, находясь въ фокусѣ зеркала, жидкость манометра перемѣщается. Если же свистокъ помѣстить гдѣ-нибудь, хотя бы и близко отъ манометра, показанія послѣдняго не измѣняется (Свистокъ соединяютъ съ однимъ концомъ длинной каучуковой трубки, въ другой конецъ которой вдуваютъ воздухъ).

Ф. Ростовцевъ (Варшава, реальное учил.).

8) *Опытъ Кюри* съ іонизаціею воздуха беккерелевскими лучами (*Физ. Обозр.* I, 161 и II, 103) всего удобнѣе дѣлать съ румкорфовскимъ индукторомъ (а не съ электрической машиною), ибо тогда легче подравнять обѣ искры въ двойномъ искровомъ прерывателѣ BAB' (фиг. 1); для полученія болѣе яркой и болѣе чувствительной искры передъ прерывателемъ слѣдуетъ поставить небольшую лейденскую банку C.



фиг. 1.



фиг. 2.

Опытъ можно сдѣлать въ еще болѣе наглядной формѣ, если включить двѣ одинакія гейслеровскія трубочки G_1 и G_2, какъ это показано на фиг. 2. Подравнявъ предварительно искры въ двойномъ прерывателѣ, радіоактивное вещество подносятъ то къ 1-му перерыву, то ко 2-му, при чемъ то получается маленькая искра въ 1-мъ перерывѣ и ярко свѣтится трубка G_1, то получается искра во 2-мъ перерывѣ и свѣтится трубка G_2.